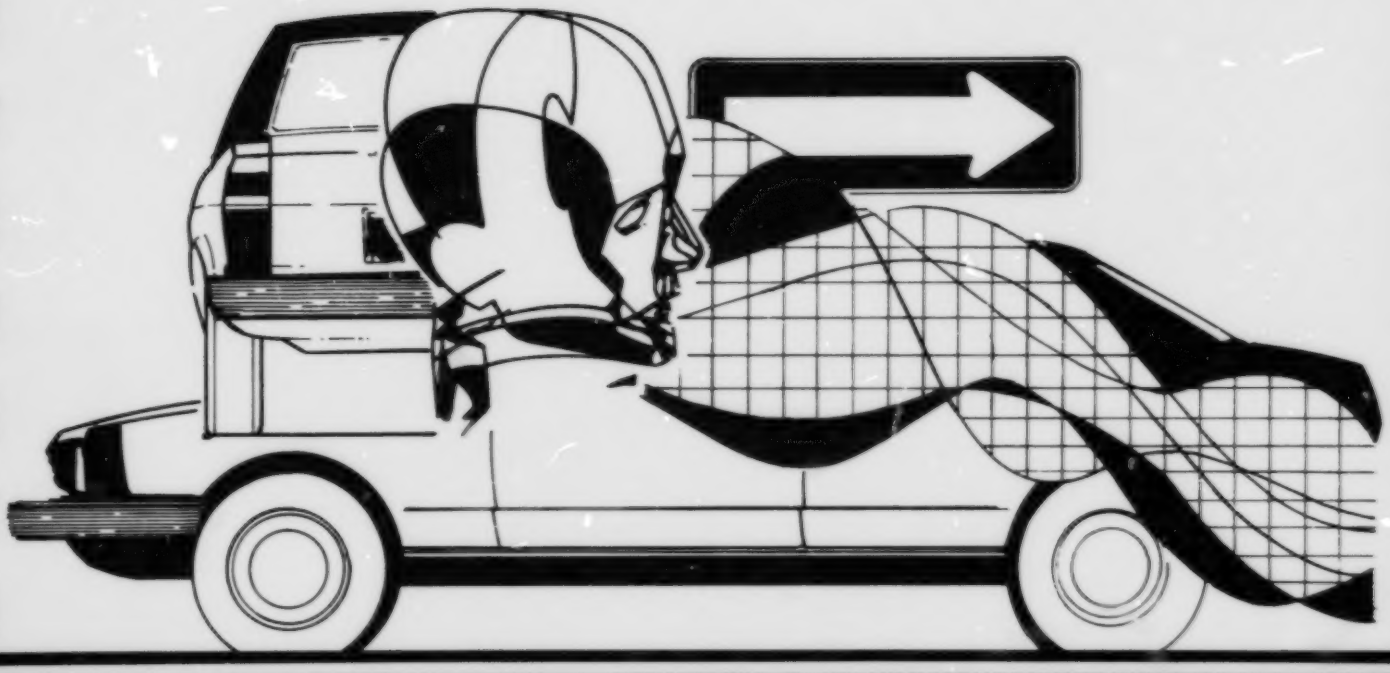
TP8445F

ÉTUDE DE DEVELOPPEMENT DE SIÈGES D'AUTOBUS SCOLAIRES



CA1
DTC 132
87
S11Z

Transport Canada
Road Safety

Transports Canada
Securité routière

Canada

CA1
DTC132-
87
S11Z

372701

41.D

Library and Information Centre / Centre de documentation (GSLA)
RECEIVED - REÇU LE
OCT 5 1987
Transport Canada

ÉTUDE DE DEVELOPPEMENT DE SIÈGES D'AUTOBUS SCOLAIRES

Présentée à: Normes et recherche relatives à la sécurité routiére

Transports Canada

Auteur: G.N. Farr. Ing.

Spécialiste de la sécurité automobile

Section de la résistance aux collisions

Date: Avril 1987

372701

FORMULE DOCUMENTAIRE DU RAPPORT

91-02941/

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3 N° de catalogue du destinataire
TP 8445 F	-	

4 Titre et sous-titre	5 Date du rapport
Etude de développement de sièges d'autobus scolaires	Avril 1987
	6 N° du rapport de l'organisme exécutant: TP 8445 F

7. Auteur(s)	8 N° de dossier Transports Canada
G.N. Farr, ing.	ASF 3291-10-4

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10 N° de dossier — ASC
Transports Canada Sécurité routière et réglementation auto. Protection des occupants	485Z-T8080-7-0242
	11 N° de contrat — ASC ou Transports Canada: 0SZ85-00139

12 Nom et adresse de l'organisme parrain	13 Genre de rapport et période visée
Même	Final
	14 Code de organisme parrain

15. Remarques additionnelles	16 Agent de projet — CDT
Ce rapport est supplémentaire au rapport TP 6222 E "School Bus Safety Study".	

17 Resume

Pour examiner les méthodes possibles d'améliorer la protection offerte aux occupants d'un autobus scolaire, une étude a été effectuée pour créer, fabriquer et mettre à l'épreuve cinq sortes de sièges munis d'un système de retenue différent.

18 Mots-clés	19 Diffusion
Ceintures de sécurité la sécurité des autobus scolaires autobus scolaire les sieges des autobus scolaires	Publique

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21 Classification de sécurité (de cette page)	22 Nombre de pages	23 Prix
UN	UN	75	-

CDT TDC 79-005

REMERCIEMENTS

L'auteur du présent rapport tient à exprimer sa reconnaissance au personnel de Davis Engineering qui a conçu et fabriqué les différents modèles de sièges étudiés, puis supervisé l'exécution des essais. MM. Don Day et Dave Dennison de l'Institut civile et de la défense pour la médecine de l'environnement, où ont été effectués les essais, ont également été d'une aide précieuse pour ce travail.

Tous nos remerciements vont également à MM. T.M. Burtch, R.V. Myers et W. Gardner, de Transports Canada, pour la préparation du manuscrit et les conseils et suggestions utiles qu'ils ont émis, ainsi qu'à Mme Lynda Lackey pour la dactylographie et les nombreuses révisions et corrections apportées à cette étude.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Table des matières	i
Liste des tableaux	iii
Summary (anglais)	1
Résumé (français)	4
Avant-propos	7
Introduction	10
Méthodologie	14
Essais dynamiques des sièges	15
Installation et instruments d'essai	16
Mise en place du matériel d'essai	16
Résultats	18
Mise au point	18
Sièges tournés vers l'avant avec simples ceinture sous-abdominales	20
Siège avec dossier à rembourrage profilé	21
Siège avec dossier moins rigide	25
Sièges avec ceintures sous-abdominales et ceintures-baudriers	26
Siège avec dispositif de retenue à trois attaches	27
Siège avec dispositif de retenue à attaches multiples	28
Siège tourné vers l'arrière du véhicule	31
Coûts	36

	Page
Essais supplémentaires	38
Collision frontale - mannequin non retenu - siège avec dossier à rembourrage profilé	38
Collision frontale - siège avec dossier moins rigide	39
Collision frontale - dispositifs à trois attaches - deux mannequins sur le siège	41
Collision frontale - siège tourné vers l'arrière - trois mannequins sur le siège	42
Divers	45
Rétracteurs	46
Conclusions	48
Recommandations	49
Liste des photographies et photographies	50
Références	89

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1 - Vitesse et accélération maximales du chariot 33

Tableau 2 - Accélération de la tête et de la poitrine et valeurs des critères de blessures de la tête 33

Tableau 3 - Charges maximales au niveau de la ceinture 34

Tableau 4 - Charges maximales au niveau des fémurs 34

Tableau 5 - Affaissement approximatif dans la partie supérieure centrale du dossier 35

Tableau 6 - Estimation de l'augmentation du coût de production 37

Tableau 7 - Résultats des essais supplémentaires 44

SUMMARY

In order to investigate possible methods of improving the protection provided to school bus occupants, a project was initiated to design, construct and test five different seating concepts, each employing a restraint system (lap belt, lap-shoulder belt or harness).

Modifications were made to a standard .99 m (39 inch) Blue Bird seat with manual seat belts, in order to meet the specific requirements for each of the new concepts.

In addition to these five new designs, a standard Blue Bird bus seat with lap belts was also tested to provide baseline data for comparison purposes.

The five seats which were designed, constructed and tested were as follows:

1) Contoured padded seat back and lap belt combination

   This design included additional padding on the top and rear of the seat back.

2) Less aggressive seat back and lap belt combination

   The top portion of the seat back frame was modified to allow greater seat back deflection when struck from the rear.

3) Rearward facing seat with lap belt

   The seat was turned to face the rear of the bus and the seat back was increased in height and reinforced.

4) Three-point restraint system

   This seat incorporated an automotive type lap and shoulder belt requiring that the seat frame structure be considerably reinforced.

5) Multi-point restraint system

   This seat incorporated a harness type restraint, consisting of a lap belt and two shoulder straps. The seat frame structure was again considerably reinforced.

All seat belt systems, with the exception of the unaltered seat and the multi-point restraint system, incorporated emergency locking retractors.

The testing of the seats was conducted using the Hyge impact test facility at the Defence and Civil Institute for Environmental Medicine (DCIEM) in Toronto. Both head-on and oblique (30 degrees from head-on) tests were performed at a deceleration of 30g's from 48 km/h (30 mph). Instrumented 5th percentile adult female anthropomorphic test devices were used to acquire test data for head and chest acceleration, femur and seat belt loads. High speed filming of each of the tests was also done to assist in the analysis of the results.

The test results can be summarized as follows:

1) Contoured padded seat back

   The results were essentially the same as those for the standard unaltered seat.

2) Less aggressive seat back

   The peak head acceleration was significantly lower and the chest acceleration was somewhat lower than for the unaltered seat. However, the Head Injury Criteria (HIC) value was essentially the same as that calculated for the unaltered seat.

3) Rearward facing seat

   This seat showed a significant reduction in all recorded injury criteria, compared to the standard unaltered seat.

4) Three point and multi-point restraint systems

   Both these systems significantly reduced the head acceleration and HIC, but not the chest acceleration.

CONCLUSIONS

The following conclusions can be drawn from this test program:

1. The rearward facing seat was effective in reducing all injury levels to acceptable values.

2. The upper torso restraint on the three-point system reduced the head injury (HIC) value to acceptable levels but did not improve the resultant peak chest acceleration. However, if a three-point restraint system is used, it is imperative that the occupant wear the belts due to the increased stiffness of the seat structure.

3. The two systems which used modified forward facing seats and lap belts only were not effective in reducing the head injury criteria (HIC) to acceptable levels.

4. The multi-point seat belt system was cumbersome to use and permitted submarining of the test ATD.

5. The location of the retractors on the lower seat frame must be re-examined to prevent possible damage by leg contact from the rear.

6. The modifications for the three systems which employ lap belts only cost below $60 per seat. The modifications for the two systems which incorporate upper torso restraint cost in excess of $115 per seat. Retractors represent the most significant increase in cost for all systems.

RESUME

Pour examiner les méthodes possibles d'améliorer la protection offerte aux occupants d'un autobus scolaire, une étude a été effectuée pour créer, fabriquer et mettre à l'épreuve cinq sortes de sièges munis d'un système de retenue différent (ceinture sous-abdominale, combinaison de ceinture sous-abdominale et de ceinture baudrier, et système de retenue à attaches multiples). Certaines modifications furent apportées au siège de 0.99 m (39 po.) fabriqué par Blue Bird et équipé de ceintures manuelles, pour satisfaire aux exigences spécifiques de chacuns des modèles. En plus des cinq modèles de prototypes, un siège standard de Blue Bird avec ceintures sous-abdominales à aussi été mis à l'essai pour fournir les données de base à titre de comparaison.

Les cinq sièges qui ont été créés, fabriqués et mis à l'essai sont ceux qui suivent:

1. Combinaison d'un rembourrage contournant le dossier du siège avec ceinture sous-abdominale

   Ce modèle comprenait du rembourrage supplémentaire à l'arrière et au-dessus du dossier du siège.

2. Combinaison d'un dossier de siège moins rigide avec ceinture sous-abdominale

   La charpente du dossier du siège était modifiée pour permettre un amortissement plus efficace quand il était enfoncé de l'arrière.

3. Siège faisant face à l'arrière avec ceinture sous-abdominale

   Ce siège était renversé pour faire face à l'arrière de l'autobus scolaire et le dossier du siège avait été élevé et renforcé.

4. Système de retenue à trois attaches

   Ce siège comprenait une ceinture sous-abdominale et une ceinture baudrier telle qu'installée dans une voiture. Il avait été nécessaire de renforcer considérablement la charpente du siège.

5. Système de retenue à attaches multiples

Ce siège comprenait une ceinture sous-abdominale et deux ceintures baudriers. La charpente du siège était aussi considérablement renforcée.

Toutes les ceintures de sécurité étaient munies d'un rétracteur à blocage d'urgence, à l'exception de celles à attaches multiples et au siège standard.

L'essai des sièges a été effectué en employant le simulateur à l'épreuve d'impact Hyge, situé dans les installations de l'institut Civile et de la Défense pour la Médecine de l'Environnement à Toronto. Les essais d'impact direct et indirect ont été effectués avec une décélération de 30g à partir de 48 km/h (30 miles à l'heure). Des mannequins anthropomorphiques à 5e percentile adulte du sexe féminin furent employés pour l'épreuve. Les mannequins instrumentés ont servi à cumuler les resultats reliés à l'accélération de la tête et de la poitrine, et à la charge sur le fémur et sur la ceinture de sécurité. Chaque essai effectué fut filmé à haute vitesse pour aider à l'analyse des données.

Chaque modification a presenté les resultats suivant:

1. Le rembourrage contournant le dossier du siège

Ce siège a obtenu essentiellement les même resultats que le siège standard.

2. Le siège avec dossier moins rigide

L'accélération maximale de la tête était sensiblement plus basse et l'accélération de la poitrine légèrement plus basse que celle du siège standard. La valeur du critère de blessure de la tête (HIC) était essentiellement la même que celle calculée pour le siège standard.

3. Le siège faisant face à l'arrière

Ce siège a présenté des améliorations significatives dans tous les domaines problèmatiques, comparé au siège standard.

4. Les systèmes de retenue avec trois attaches et attaches multiples

   Ces deux systèmes ont sensiblement réduit l'accélération de la tête et le critère de blessure de la tête, mais pas l'accélération de la poitrine.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de ce programme d'essai

1. Le siège faisant face à l'arrière s'est montré très efficace pour reduire tous les degrés de blessures à des valeurs acceptables.

2. La ceinture baudrier au système à trois attaches a diminué le critère de blessure de la tête (HIC) à un niveau acceptable mais n'a pas amelioré le niveau d'accélération de la poitrine. Cependant, si un système à trois attaches est installé dans un autobus scolaire, il faut absolument que l'occupant porte la ceinture à cause du renforcement considerable de la charpente du siège.

3. Les deux systèmes de sièges faisant face à l'avant et employant seulement les ceintures sous-abdominales ne se sont pas montrés efficaces pour diminuer le critère de blessure de la tête à une valeur acceptable.

4. Le système à attaches multiples était encombrant et a permis au mannequin de glisser sous le système de retenue.

5. Il faut reconsiderer le placement des rétracteurs sur la charpente inférieure du siège pour éviter le dommage possible causé par le contact des jambes de l'occupant en arrière.

6. L'augmentation de coût pour les trois systèmes munis de ceintures sous-abdominales est de moins de 60$ le siège. L'augmentation de coût pour les deux systèmes munis de ceintures sous-abdominales et de ceintures baudrier est de plus de 115$ le siège. Le cout des rétracteurs entraîne la plus grande augmentation de prix pour tous les systèmes.

AVANT-PROPOS

À la fin de 1984, Transports Canada effectuait des essais de collision en situation réelle avec trois autobus scolaires de grosseur différente[1] afin de déterminer comment les ceintures de sécurité pouvaient accroître la protection des passagers. Les trois véhicules utilisés étaient un autobus Blue Bird conventionnel de 66 places, un "Minotour" de 22 places de Thomas et un Campwagon modifié de 20 places. Chacun transportait six mannequins anthropomorphiques du 5^{e} percentile adulte du sexe féminin, tous munis d'instruments permettant d'enregistrer les forces exercées au niveau de la tête, de la poitrine et des fémurs. Trois des mannequins étaient retenus par une ceinture de sécurité sous-abdominale à ajustement manuel, tandis que les trois autres n'étaient pas attachés. Les autobus ont été lancés contre un mur en béton, à une vitesse approximative de 48 km/h (30 mi/h) de manière à simuler une violente collision frontale.

Les résultats ont été analysés à partir du critère de blessure à la tête (HIC) et de l'accélération de la poitrine. Le critère de blessure à la tête est une valeur mathématique combinant l'accélération de la tête et la durée de cette accélération. On a fixé à 1 000 le seuil au-delà duquel le choc entraînerait de graves blessures ou la mort. En ce qui concerne l'accélération de la poitrine, la limite a été fixée à 60 g pendant une période supérieure à 3 millièmes de seconde.

De manière générale, les résultats ont montré que les mannequins retenus par une ceinture de sécurité avaient subi une accélération de la tête plus grande, mais une accélération de la poitrine moindre que les mannequins non

retenus. En outre, d'après le film, les premiers accusaient une plus grande extension du cou que les seconds en raison de l'angle auquel ils ont heurté le siège placé en avant d'eux. Dans les autobus Thomas et Campwagon, la valeur du critère de blessure à la tête chez les mannequins retenus par une ceinture de sécurité était supérieure à 1 000, mais elle était inférieure chez les mannequins non retenus. Dans le gros autobus Blue Bird, elle était inférieure à 1 000 chez tous les mannequins; cependant, les valeurs enregistrées chez les mannequins qui étaient retenus par une ceinture de sécurité étaient environ trois fois supérieures à celles enregistrées chez les autres mannequins.

Cette différence s'explique par le fait que les mannequins dotés d'un dispositif de retenue ont plié au niveau de la ceinture sous-abdominale et que leur tête a heurté violemment le dossier du siège placé devant eux. De fortes pointes dans les graphiques d'accélération de la tête indiquent en effet que le rembourrage de ce dossier a été comprimé à un point tel que les mannequins se sont écrasés, pourrait-on dire, contre son armature métallique.

Les essais ont aussi démontré que l'addition de ceintures de sécurité dans les autobus scolaires entraînait nécessairement la modification des sièges existants. Cette conclusion a conduit à la création du PROGRAMME D'ÉTUDE DES SIÈGES D'AUTOBUS SCOLAIRES. Plusieurs modèles de sièges ont depuis été conçus, fabriqués, puis testés. L'objectif était de rechercher les moyens d'accroître la protection des passagers dans tous les types d'accidents possibles.

Les résultats des essais de collision sont présentés dans les volumes I et II du rapport intitulé "SCHOOL BUS SAFETY STUDY"[1], publié par Transports Canada. Par ailleurs, les résultats du rapport "SCHOOL BUS SEAT DEVELOPMENT STUDY"[2] sont inclus dans le rapport technique de Davis qui porte le même titre.

Ce rapport renferme également les résultats de quatre essais supplémentaires avec chariot propulseur, résultats qui s'ajoutent en partie à ceux du rapport Davis.

INTRODUCTION

Il y a longtemps qu'on discute de l'installation de ceintures de sécurité dans les autobus scolaires. Une étude menée récemment sur cette question montre que la réponse n'est pas si simple. Les données relatives aux accidents routiers indiquent que l'autobus scolaire constitue déjà le moyen de transport terrestre le plus sûr[3]. En moyenne, moins de deux passagers d'autobus scolaires meurent chaque année. En fait, la plupart des accidents entraînant la mort ou des blessures graves surviennent à l'extérieur du véhicule.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces statistiques encourageantes. Les autobus scolaires roulent plutôt lentement entre les arrêts, ils suivent des horaires précis et des trajets déterminés. Leur couleur caractéristique attire l'attention et leurs feux clignotants préviennent les automobilistes lorsque des enfants doivent y monter ou en descendre. Dans plusieurs provinces, ils sont également équipés d'un panneau avertisseur qui se déploie latéralement. Les règlements provinciaux interdisent de dépasser un autobus scolaire lorsque ses feux clignotent pour signifier qu'il prend ou dépose des passagers. Dans la plupart des provinces, les chauffeurs d'autobus scolaire doivent également être titulaires d'un permis spécial.

Les autobus scolaires présentent en outre certaines particularités de conception et de construction visant à assurer la protection des passagers en cas d'accident. Ceux-ci occupent des sièges à haut dossier, fortement rembourrés et assez rapprochés les uns des autres. Une barrière de retenue, également rembourrée, est placée devant la première rangée de sièges. Toute

pièce d'armature ou d'équipement située à l'intérieur d'une "ZONE DE PROTECTION DE LA TÊTE" est rembourrée ou fabriquée de façon à satisfaire certaines normes de sécurité[4]. Toutes ces mesures de protection passive ont pour but de réduire les risques de blessure en cas d'accident. Les fenêtres latérales et les pare-brise sont soumis à des essais particuliers[5]. Les véhicules doivent comporter des issues de secours clairement identifiées, répondant à des exigences strictes[5]. Des normes élevées établissent la résistance que doivent avoir les points d'assemblage de la carrosserie des gros autobus[6]. Leur réservoir d'essence doit également être protégé afin de prévenir les dommages ou les fuites en cas d'accident[7]. Le toit des autobus scolaires doit pouvoir supporter une charge au moins égale à une fois et demie leur poids total, y compris celui des passager; afin de bien résister à un tonneau éventuel. Les sièges eux-mêmes sont soumis à des essais d'affaissement pour vérifier si l'ancrage au plancher est suffisamment solide et si le dossier peut absorber une certaine quantité d'énergie lors d'un impact[4].

Au Canada, la plupart des provinces exigent le port des ceintures de sécurité dans les véhicules qui en sont équipés par les fabricants. Un grand nombre de personnes se demandent alors pourquoi il n'est pas obligatoire d'en installer dans tous les autobus scolaires.

Les essais de collision effectués en 1984 révélaient que les passagers retenus par une simple ceinture de sécurité sous-abdominale s'exposaient davantage à de graves blessures à la tête en cas de collision frontale, que ceux qui n'étaient pas attachés du tout. Ils montraient aussi que la fréquence et la gravité des blessures à la tête observées chez des

mannequins retenus ou non dans le plus gros des autobus accidentés étaient nettement inférieures au niveau considéré comme dangereux. Ces essais ne concernaient pas l'effet des ceintures de sécurité en cas de collision latérale ou de tonneau. On peut quand même dire que dans ce genre d'accident, les ceintures de sécurité réduisaient le risque d'éjection ou de catapultage à l'intérieur du véhicule.

Les essais de collision ont donc démontré qu'il n'était pas suffisant d'installer des ceintures sous-abdominales dans les autobus scolaires, mais qu'il fallait aussi étudier à fond différents modèles de sièges et d'attaches.

Le nouveau programme portait donc sur la conception, la fabrication et l'essai de cinq sortes de sièges et de leurs dispositifs de retenue. Les essais ont été effectués au moyen du chariot Hyge (photographie n° 1) de l'Institut civileet de la défense pour la médecine de l'environnement (DCIEM), à Downsview, en Ontario. On a simulé, pour chaque modèle, une collision frontale et une collision selon un angle de 30 degrés par rapport à l'axe longitudinal du véhicule, toutes les deux à une vitesse de 48 km/h (30 mi/h). L'accélération était fixée à 30 g. Ces paramètres sont légèrement moins élevés que ceux de 1984, lors de l'essai avec le Campwagon, soit 47,1 km/h et 49 g, légèrement plus élevés que ceux utilisés avec le Minotour de Thomas, soit 47 km/h et 19,5 g, et beaucoup plus élevés que dans le cas de l'autobus Blue Bird, soit 48,8 km/h et 15 g.

On ne peut établir aucune comparaison précise entre les résultats de ces essais et ceux obtenus lors des collisions contre un mur, en raison de l'écart entre les forces d'impact et en raison des différences méthodologiques. Ces résultats se situeraient entre ceux enregistrés avec le Minotour de Thomas et avec le Campwagon.

Le but de ces essais était de recueillir les données additionnelles qui permettraient de concevoir des sièges assurant une meilleure protection aux passagers des autobus scolaires. Les résultats montrent que certains modèles, en conjonction avec un dispositif de retenue adéquat, le font mieux que d'autres. Ils serviront de guide aux autorités compétentes, soucieuses d'accroître l'excellente protection déjà offerte aux passagers des autobus scolaires.

MÉTHODOLOGIE

L'étude portait sur la conception, la fabrication et la mise à l'essai de sièges appartenant à cinq modèles différents:

i) dossier à rembourrage profilé et ceinture sous-abdominale

ii) dossier moins rigide et ceinture sous-abdominale

iii) siège tourné vers l'arrière et ceinture sous-abdominale

iv) dispositif de retenue à trois attaches

v) dispositif de retenue à attaches multiples.

Les principales exigences auxquelles devaient répondre ces modèles étaient les suivantes:

1. Conception aussi rapprochée que possible de modèles existants.

2. Dispositif de retenue avec rétracteur à blocage d'urgence.

3. Fixation des dispositifs à l'armature des sièges.

4. Fabrication aisée des sièges.

5. Facilité d'insertion et de dégagement des passagers.

6. Possibilité d'y asseoir un enfant de 6 ans aussi bien qu'un adulte de sexe masculin du 50^{e} percentile.

7. Conformité dans la mesure du possible aux normes NSVAC 208, 209, 210 et 222.

Le siège servant de référence était un siège Blue Bird de 0,99 m (39 po) (photographie n° 2) conforme à NSVAC 222, "Sièges pour passager d'autobus scolaire et protection en cas de collision". La partie inférieure du siège avait été renforcée de manière à pouvoir y fixer les ceintures sous-abdominales; sa résistance était conforme aux exigences de la norme NSVAC 210, "Ancrage des ceintures de sécurité". Tous les modèles soumis aux essais étaient des versions modifiées du siège Blue Bird.

Essais dynamiques des sièges

En tout, douze essais ont été effectués, soit deux pour chacun des cinq modèles à l'étude et deux pour le siège standard. La première série d'essais visait à simuler une collision frontale avec une accélération maximale de 30 g et à une vitesse maximale de 48 km/h (30 mi/h). La seconde série simulait une collision de biais, soit à 30 degrés par rapport à l'axe longitudinal du véhicule. L'accélération maximale était également de 30 g et la vitesse maximale de 48 km/h (30 mi/h).

Outre ces douze essais, on a également effectué quatre essais supplémentaires pour simuler d'autres types de collisions. Les paramètres choisis étaient les mêmes que précédemment. Les méthodes et les résultats de ces essais sont décrits dans la section intitulée "Essais supplémentaires".

Installation et instruments d'essai

Les essais ont été effectués au Centre d'étude d'impact du DCIEM (photographie n° 1), à Toronto. Dans ce genre d'installations, les collisions sont simulées en "marche arrière", c'est-à-dire que le chariot à l'arrêt est propulsé vers l'arrière à telle ou telle vitesse. Les principaux organes de simulation d'impacts sont un mécanisme hydraulique/pneumatique de mise en mouvement Hyge et un chariot propulseur sur rail.

On s'est servi pour ces essais de deux mannequins anthropomorphiques du 5^{e} percentile adulte du sexe féminin. Le mannequin à l'arrière était muni d'accéléromètres à trois axes dans la tête et dans la poitrine, ainsi que de capteurs de force dans les deux fémurs. Les ceintures sous-abdominales et les ceintures-baudriers étaient toutes munies de capteurs de charge. L'autre mannequin ne comportait aucun instrument et ne faisait qu'occuper son siège.

Quatre caméras à grande vitesse étaient fixées au chariot, une de chaque côté, une à l'avant et une autre à l'arrière. Deux appareils d'enregistrement séquentiel à pellicule polaroid, non rattachés au chariot, ont également fourni huit photographies successives du choc.

Mise en place du matériel d'essai

Sauf indication contraire, chaque essai portait sur deux sièges et deux mannequins. Les sièges étaient fixés à une feuille de contre-plaqué de 37 mm (1,5 po) d'épaisseur, elle-même fixée au châssis en acier du chariot propulseur. L'espace séparant les deux sièges, de la partie postérieure du dossier du siège avant à la partie antérieure du dossier du siège arrière,

était d'environ 660 mm (26 po) lors de chaque essai. Cela équivaut approximativement à une distance de 533 mm (21 po) entre le point de référence de position assise du siège arrière et la partie postérieure du dossier du siège avant. On a mesuré cette distance horizontalement, à partir du point d'articulation des hanches du mannequin assis sur le siège arrière.

Ce mannequin était calé dans son siège, en position légèrement inclinée pour bien tenir en place. La ceinture sous-abdominale était attachée. Comme tous les dispositifs de retenue comportaient un rétracteur à blocage d'urgence, sauf pour ce qui est des sièges standard et des sièges à attaches multiples, les ceintures étudiées sanglaient automatiquement le mannequin.

La ceinture de sécurité à ajustement manuel du siège standard était bouclée et serrée étroitement sur le bassin du mannequin (photographie n° 13). Une fois la ceinture sous-abdominale attachée, on ajustait les courroies de la ceinture-baudrier pour supprimer tout jeu possible.

Le visage et les genoux du mannequin étaient ensuite recouverts d'un tissu enduit de craie afin de marquer les points d'impact contre le siège avant. La partie postérieure de ce siège était en outre peinte en blanc à chaque essai.

On mesurait aussi la distance du sommet de chaque dossier par rapport à un point fixe du chariot afin de déterminer si l'impact y avait produit une déformation permanente.

RÉSULTATS

Mise au point

Le critère de blessure à la tête (HIC) est défini dans le Règlement sur la sécurité des véhicules automobiles par la formule suivante:

$$\text{Critère de blessure à la tête} = \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a\,dt \right)^{2.5} (t_2 - t_1)$$

où "a" représente l'accélération axiale du centre de gravité de la tête, en multiples de g (accélération due à la gravité),

et où "t_1" et "t_2" désignent deux moments pendant l'impact.

On considère que lorsque le résultat est supérieur à 1 000, les forces exercées dans la région de la tête sont assez importantes pour causer des blessures graves, mettant en danger la vie du passager ou entraînant sa mort.

Bien que ce critère ne soit pas absolu, on l'utilise couramment dans les essais automobiles pour évaluer la gravité des blessures éventuelles à la tête. Il permet également d'établir des comparaisons entre plusieurs essais identiques. En fait, dans sa forme actuelle, le critère de blessure à la tête fournit un indice sur la gravité et la fréquence de telles blessures dans différentes situations, ce qui explique son utilisation pour les besoins de cette étude.

Les essais montrent également les accélérations au niveau de la poitrine. Lorsque cette valeur est supérieure à 60 g pendant plus de 3 millièmes de seconde, on estime que le passager serait gravement blessé lors d'un accident. Il est probable, cependant, que les blessures subies à la poitrine par un enfant seraient moins graves que celles subies par un adulte, en raison de la plus grande élasticité de sa charpente osseuse.

On peut considérer que les critères qui prévalent pour les adultes (blessure à la tête et accélération de la poitrine) s'appliquent aussi aux enfants, mais cela n'a pas vraiment été démontré. En l'absence d'indications plus précises, on les a quand même utilisés ici, tout comme dans les essais de collisions.

On a donc opté pour des mannequins du cinquième percentile adulte du sexe féminin afin de pouvoir établir certaines comparaisons avec les essais de collision contre un mur effectués en 1984[1]. Les mannequins ne permettent pas d'enregistrer les forces exercées au niveau du cou, les observations concernant les flexions ou blessures dans cette partie du corps sont émises à partir du visionnement des films, et non à partir de données enregistrées par des instruments de mesure. On sait que le cou et le torse des mannequins sont plus raides que dans la réalité. A cause de cette rigidité, la vitesse de déplacement de la tête contre le dossier du siège avant serait plus grande, au moment du choc, ce qui tendrait à surévaluer la gravité des blessures que subirait un passager lors d'un accident. De plus, cette même rigidité empêche la flexion de la colonne vertébrale et donc le contact des épaules avec le

dossier. Or, ce contact permettrait d'absorber une partie de l'énergie produite par la collision. Malgré ces restrictions, les résultats obtenus sont suffisamment fiables pour permettre d'évaluer la protection offerte par chacun des sièges mis à l'essai.

Les paragraphes qui suivent résument les résultats des essais et les observations relatives aux cinq sièges faisant l'objet de cette étude.

SIÈGES TOURNÉS VERS L'AVANT AVEC SIMPLES CEINTURES SOUS-ABDOMINALES

REMARQUES D'ORDRE GÉNÉRAL

Les sièges avec dossier à rembourrage profilé et avec dossier moins rigide entrent dans cette catégorie. Le but recherché lorsque l'on a conçu ces modèles était de réduire de moitié la pointe de décélération et la valeur mathématique du critère de blessure à la tête lors d'une collision frontale par rapport aux valeurs obtenues avec les sièges non modifiés. On espérait également réduire la rotation de la tête vers l'arrière afin de réduire les risques de blessure au cou.

Le rapport de Transports Canada intitulé "School Bus Safety Study[1]", documentation visuelle à l'appui, montre que les mannequins retenus uniquement par des ceintures sous-abdominales plient au niveau du bassin et que leur tête heurte plus violemment le dossier situé en avant d'eux que les mannequins non retenus. En effet, la tête frappe le haut de ce dossier en s'inclinant à un angle de 30 à 45 degrés par rapport à l'horizontale. Les fortes accélérations de la tête notées pendant les essais de collision s'expliquent par la rigidité du dossier. En raison de la minceur du rembourrage à cet endroit, la tête du mannequin a en fait heurté directement la charpente interne du dossier.

Le siège standard de l'autobus Blue Bird comporte une armature renforcée de manière à ce que l'on puisse y fixer les ceintures sous-abdominales. On a même ajouté une traverse horizontale afin d'accroître la surface de fixation des rétracteurs (photographie n° 3). L'emplacement des ceintures de sécurité était conforme aux normes NSVAC 208 et 210, "Ceintures de sécurité" et "Ancrage des ceintures de sécurité". L'angle formé par la ligne reliant le point de référence de position assise au point de fixation des ceintures de sécurité était d'environ 60 degrés afin d'empêcher le plus possible le mannequin de glisser sous le dispositif de retenue.

Siège avec dossier à rembourrage profilé

Le but recherché en créant ce modèle était d'accroître l'épaisseur de la mousse dans la zone d'impact de la tête, de manière à absorber l'énergie et à réduire la violence du choc.

Une étude antérieure réalisée pour Transports Canada[9] avait conduit à l'essai de plusieurs types et épaisseurs de rembourrage. On a ensuite opté, à partir des données de cette étude, pour une épaisseur de 100 mm. Le rembourrage supplémentaire ne devait cependant pas réduire l'espace réservé aux genoux ni gêner les passagers lorsqu'ils s'asseoient ou se lèvent.

On avait prévu deux densités de mousse pour une décélération plus efficace de la tête. On a d'abord placé une mousse dense, absorbant beaucoup d'énergie, autour des montants du dossier, puis une mousse moins dense entre la première couche et le capitonnage extérieur. On a ensuite ajouté une épaisseur supplémentaire dans la zone d'impact, du sommet en descendant vers les genoux (photographie n° 4). Le rembourrage profilé peut être mis en place

par simple glissement sur le dossier d'origine. Le coût serait donc relativement faible pour en revêtir les dossiers des nouveaux autobus scolaires ou pour modifier ceux des véhicules existants.

Siège avec dossier à rembourrage profilé - Résultats

Les tableaux 2, 3, 4 et 5 présentent les résultats obtenus. On a soumis des sièges non modifiés aux mêmes essais afin d'avoir des points de comparaison. Lors de la collision frontale, le critère de blessure à la tête était de 1 116,6 et l'accélération maximale de la poitrine de 58,9 g pour le siège non modifié (photographies n^{os} 14, 15 et 16). Les résultats du modèle à rembourrage profilé (photographies n^{os} 17 et 18) n'étaient guère meilleurs en ce qui concernait le critère de blessure à la tête (1 082). L'accélération maximale de la poitrine s'établissait à 71,6 g et le seuil de 60 g a été dépassé pendant plus de 3 millièmes de seconde. Ces résultats sont donc moins bons que ceux obtenus avec le siège non modifié. La forte accélération de la poitrine n'a pu être expliquée.

On pensait que la pose d'un rembourrage profilé sur le dossier réduirait notablement l'accélération maximale de la tête. Cela n'a pas été le cas lors de l'essai de collision frontale, la mousse absorbant un pourcentage de l'énergie transmise nettement inférieur à celui que l'on attendait. De fait, si l'on considère que l'énergie totale transmise équivaut à l'énergie cinétique d'une masse égale à 40 % du poids du corps (c'est-à-dire le poids approximatif du torse) se déplaçant à une vitesse de 48 km/h (30 mi/h), le pourcentage d'énergie absorbée par la mousse ne dépassait pas 1 %.

En revanche, le siège avec dossier à rembourrage profilé a permis une nette réduction de l'accélération maximale de la tête lors de la collision de biais (voir le tableau 2). Cela s'explique par l'angle et le point d'impact de la tête (photographies n^{os} 19, 20 et 21). Le point d'impact se situait en effet dans le coin supérieur du dossier, et non plus au centre comme c'était le cas lors de la collision frontale. En outre, l'angle d'impact de la tête était d'environ 60 degrés par rapport au dossier, ce qui équivaut à un coup dévié, la tête heurtant le rembourrage supplémentaire sans atteindre la charpente sous-jacente. Le siège non modifié, pour sa part, comporte beaucoup moins de rembourrage (photographies n^{os} 22 et 23) et forme une surface beaucoup plus rigide. Bien que l'accélération de la tête ait été nettement moindre avec le siège à dossier rembourré qu'avec le siège non modifié pendant l'essai de collision de biais, les valeurs obtenues pour le critère de blessure à la tête sont sensiblement les mêmes. Les courbes d'accélération sont à peu près identiques, sauf en ce qui concerne la pointe observée dans celle du siège non modifié et qui n'apparaît pas dans la courbe du siège avec dossier à rembourrage profilé. On peut en conclure que la pointe d'accélération intervient très peu dans le calcul des probabilités de blessure de la tête.

Si l'on évalue la sécurité des différents sièges en fonction de ce critère de blessure à la tête, il faut en conclure que le siège avec dossier à rembourrage profilé n'est pas meilleur que le siège non modifié lors des collisions frontales ou lors des collisions de biais. Cela semble logique

dans le cas des collisions frontales, puisque les accélérations maximales de la tête sont différentes pour les deux sièges, mais moins cependant dans le cas des collisions de biais, puisque l'accélération maximale enregistrée avec le rembourrage profilé ne représentait que 40 % de celle enregistrée avec le siège non modifié.

Il est important de souligner que le critère de blessure à la tête ne tient pas compte de plusieurs facteurs, comme par exemple, l'extension du cou, donnée qui est d'ailleurs difficilement quantifiable. Les films montrent néanmoins que l'extension du cou est sensiblement réduite avec le siège à rembourrage profilé, ce dont on ne tient pas compte lorsqu'on se préoccupe uniquement du critère de blessure à la tête.

Le tableau 4 présente les valeurs enregistrées au niveau des fémurs. On remarque qu'elles sont nettement inférieures dans le cas du siège non modifié. Cela est probablement attribuable au fait que ce siège était muni de ceintures de sécurité à réglage manuel, tandis que celles du siège à rembourrage profilé étaient munies de rétracteurs. Or, les sangles peuvent se relâcher quelque peu avant le blocage et les genoux risquent alors de heurter le siège placé devant.

Les essais ont mis en lumière un autre problème, à savoir l'emplacement des rétracteurs des ceintures de sécurité. En effet, le mannequin placé à l'arrière a heurté le rétracteur central avec sa jambe droite, détruisant le boîtier et libérant les sangles de la ceinture fixée au siège avant (photographies n^{os} 39, 17 et 25). Il faudrait donc renforcer le boîtier des rétracteurs afin qu'ils puissent résister à un tel choc.

Siège avec dossier moins rigide

On s'est servi d'un siège dont le dossier, dans sa partie supérieure, pourrait se déformer sous le choc et absorber assez d'énergie pour réduire l'accélération de la tête.

Le cadre avait été modifié en conséquence. On avait remplacé le profilé qui entoure le haut du siège et une partie des côtés par une tubulure ronde plus petite dont la paroi mesurait 1,5 mm d'épaisseur et dont le diamètre extérieur était de 12 mm (photographies n^{os} 5 et 6). Le haut du dossier était conçu de manière à s'incliner vers l'avant lorsqu'une charge s'appliquait de l'arrière; la force requise pour la déformation du dossier était inférieure à celle produisant la déformation du siège non modifiée en situation semblable, mais supérieure à celle découlant d'une utilisation normale par des passagers.

Siège avec dossier moins rigide - Résultats

En ce qui concerne le critère de blessure à la tête, le résultat obtenu avec le siège avec dossier moins rigide (photographies n^{os} 24, 25 et 26) n'est pas très différent de celui avec le siège non modifié, soit 1 079,8 contre 1 116,6 (voir tableau 2). En revanche, l'accélération maximale enregistrée dans les deux types de collisions a diminué d'environ 40 %. La courbe d'accélération était sensiblement la même que celle du siège non modifié, sauf que la forte pointe d'accélération avait disparu. Ce siège s'est comporté tel que prévu, en ce sens qu'il a fortement réduit l'accélération maximale de la tête. Malheureusement, il n'a pas abaissé autant qu'on pouvait le penser la valeur du critère de blessure à la tête. Bien que l'énergie soit dissipée sur une plus longue période de temps, il semble en effet que la quantité d'énergie que doit absorber la tête soit fondamentalement la même.

La déformation permanente du montant supérieur du dossier moins rigide (photographie n° 27) était deux fois plus importante que celle subie par le siège non modifié (voir tableau 5). Là encore, on peut dire que le siège s'est comporté à peu près comme prévu.

Le siège avec dossier moins rigide a réduit l'accélération maximale de la poitrine d'environ 18 % dans les deux types de collisions. Lors de la collision frontale, l'accélération maximale de la tête était inférieure à 60 g. Lors de la collision de biais, elle était supérieure à 60 g, mais durait moins de 3 millièmes de seconde.

La déformation du dossier était due à l'impact de la tête. Le piètement du siège n'avait que très peu gauchi. Les valeurs enregistrées au niveau des fémurs étaient à peu près identiques à celles obtenues avec le siège à rembourrage profilé, et donc nettement supérieures à celles obtenues avec le siège non modifié. On peut ici encore expliquer ces valeurs par le relâchement des ceintures avant leur blocage par les rétracteurs.

L'essai de ce siège a également provoqué la destruction du rétracteur, comme dans le cas du siège à rembourrage profilé.

SIÈGES AVEC CEINTURES SOUS-ABDOMINALES ET CEINTURES-BAUDRIERS

REMARQUES D'ORDRE GÉNÉRAL

Les sièges munis d'un dispositif de retenue à trois attaches et à attaches multiples entraient dans cette catégorie. Ceux qui devraient être munis d'une ceinture sous-abdominale et d'une ceinture-baudrier obéissaient à des règles de conception différentes.

La norme NSVAC 222 stipule que le dossier du siège doit être suffisamment souple pour absorber une certaine quantité d'énergie lorsqu'il est soumis à une force donnée. Par contre, un siège muni d'une ceinture sous-abdominale et d'une ceinture-baudrier doit pouvoir résister à des charges beaucoup plus grandes sans bris de son armature ou des points d'ancrage. Un siège de ce type ne peut donc se conformer à la fois aux normes NSVAC 222 et 210 (Ancrage des ceintures de sécurité). Les systèmes de retenue à trois attaches et à attaches multiples ont été conçus à partir de la même armature.

Il est important de souligner que si les sièges d'autobus étaient munis de ceintures sous-abdominales et de ceintures-baudriers, celles-ci devraient absolument être bouclées en permanence. Dans le cas contraire et advenant une collision, les blessures que subiraient les passagers en heurtant les dossiers devant eux seraient plus graves qu'avec des sièges ordinaires en raison de la plus grande rigidité de ce genre de dossiers.

Siège avec dispositif de retenue à trois attaches

La norme NSVAC 210 stipule que les ceintures de sécurité doivent être soumises à une charge de 13 350 N (3 000 lb) au niveau de la ceinture sous-abdominale, selon un angle de 10 degrés au-dessus de l'horizontale, et à une charge de 13 350 N (3 000 lb) au niveau de la ceinture-baudrier, à un point situé à mi-chemin entre les points d'attache des deux ceintures, selon un angle de 10 degrés par rapport à l'horizontale.

La conception de ce dispositif de retenue s'est faite à l'aide d'un modèle à éléments finis en prenant comme point de départ le siège Blue Bird

standard. On a du lui ajouter un pied central pour rendre son dossier plus rigide, de même que des entretoises pour en renforcer le piètement (photographies n^{os} 7 et 8). Ces membres supplémentaires étaient identiques aux tubulures carrées formant le cadre du siège standard.

Le dispositif de retenue pouvait s'adapter à des sujets dont la taille allait de celle du 50^{e} percentile enfant de 6 ans à celle du 50^{e} percentile adulte du sexe masculin. La composante sous-abdominale du dispositif de retenue était semblable aux ceintures sous-abdominales précédemment décrites. Pour ce qui est du baudrier, pourvu d'un rétracteur à blocage d'urgence, la sangle traversait le rembourrage du siège, entrait dans un anneau de guidage en D fixé à l'armature du dossier et redescendait jusqu'au rétracteur fixé à celle du siège (photographies n^{os} 7 et 8). Le fonctionnement du dispositif est identique à celui des ceintures de sécurité des sièges avant dans la plupart des automobiles actuelles.

Siège avec dispositif de retenue à attaches multiples

Le siège avec dispositif de retenue à attaches multiples pouvait lui aussi recevoir trois sujets de petite taille, mais c'est le seul modèle qui n'avait pas de rétracteurs (photographie n° 9). Les ceintures, conçues à partir du modèle 2200 de Barwick Industries, étaient fixées à quatre points d'ancrage.

L'armature du siège était identique à celle du modèle précédent. Seul le haut du dossier était un peu plus large en raison des points d'ancrage des ceintures-baudriers (photographie n° 10). Les ceinture sous-abdominales

étaient fixées aux points d'ancrage habituels. Deux mécanismes de réglage situés dans la partie supérieure des ceintures-baudriers permettaient d'effectuer les ajustements nécessaires.

Sièges avec ceintures sous-abdominales et ceintures-baudriers - Résultats

Les résultats des essais relatifs aux systèmes de retenue à trois attaches (photographies n^{os} 31, 32 et 33) et à attaches multiples (photographies n^{os} 35, 36 et 37) sont semblables. Dans aucun des deux cas, la tête des mannequins n'a heurté le dossier du siège avant (photographies n^{os} 34 et 38). De plus, l'accélération maximale de la tête ne s'est pas produite lors de l'impact initial, mais lors du freinage du chariot, quand la tête du mannequin, revenant vers l'arrière, a frappé le dossier du siège. L'accélération maximale produite par ce choc secondaire a été de très courte durée et n'a pas sensiblement modifié la valeur du critère de blessure à la tête. La valeur la plus élevée obtenue pour les sièges munis d'un dispositif de retenue à trois attaches ou à attaches multiples était inférieure à 1 000 dans les essais de collision frontale et de collision de biais (voir tableau 2).

L'accélération de la poitrine a dépassé 60 g lors de ces essais. Elle a toutefois duré moins de 3 millièmes de seconde lors de l'essai de collision frontale avec le système à trois attaches. Lors de la collision de biais, elle a duré un peu plus longtemps. Pour ce qui est du siège avec dispositif de retenue à attaches multiples, l'accélération de la poitrine a duré plus de 3 millièmes de seconde dans les deux essais.

La possibilité de voir le mannequin glisser sous sa ceinture était ici plus grande, du fait que le haut du corps est retenu contre le dossier. Aucun glissement de ce genre n'a été observé pour le dispositif de retenue à trois attaches, et ce, dans les deux collisions. En revanche, avec le dispositif de retenue à attaches multiples, le mannequin placé à l'avant* a glissé sous sa ceinture au moment de la collision frontale (photographie n° 37). Lors de la collision de biais, ce sont les deux mannequins qui ont glissé sous leurs ceintures.

L'affaissement du dossier était un peu plus prononcé avec le système à attaches multiples qu'avec le système à trois attaches (voir tableau 5), ce qui est normal puisqu'une charge plus grande est transmise à l'armature lorsque le siège est muni d'une ceinture-baudrier. Le piètement des sièges n'a subi aucune déformation.

Les forces exercées au niveau des fémurs étaient élevées pour les deux dispositifs de retenue. En ce qui a trait au dispositif à trois attaches, cela est probablement dû au déroulement de la sangle du rétracteur et à la projection vers l'avant des genoux des mannequins. Dans le cas du dispositif à attaches multiples qui ne comportait pas de rétracteurs, les valeurs élevées enregistrées sont sans doute attribuables au glissement des mannequins sous leurs ceintures.

---

* Les bras du mannequin placé à l'avant étaient fixés au corps pendant les essais. S'ils avaient été libres, le glissement aurait sans doute été moindre. Quoi qu'il en soit, les risques de glissement sont toujours à considérer dans ce modèle.

SIÈGE TOURNÉ VERS L'ARRIÈRE DU VÉHICULE

Le siège tourné vers l'arrière du véhicule était équipé de la même ceinture sous-abdominale que celle des sièges avec dossier à rembourrage profilé ou avec dossier moins rigide. Son dossier dépassait cependant de 250 mm la hauteur du dossier standard (photographie n° 11) et s'inclinait légèrement dans sa partie supérieure, afin d'accroître le confort du passager éventuel et de mieux maintenir en place la tête d'un mannequin du 50^{e} percentile adulte du sexe masculin (photographie n° 12). On avait augmenté de 32 à 50 mm l'épaisseur du coussin recouvrant la partie antérieure du dossier.

On n'avait donc modifié le dossier du siège Blue Bird que pour en augmenter la hauteur, en utilisant les mêmes tubulures carrées. En raison de ce changement, il a fallu ajouter une plaque horizontale pour accroître la solidité du siège.

Siège tourné vers l'arrière - Résultats

Le siège a été fixé sur le chariot propulseur de manière à simuler son orientation vers l'arrière d'un autobus. C'est ce modèle (photographie n° 28) qui a donné les meilleurs résultats. Les valeurs du critère de blessure à la tête étaient très basses, soit environ 300 (voir tableau 2). Bien que la tête heurta le dossier du siège avant, le choc n'était pas brutal. Il ne s'agissait en fait que d'un rebond (photographie n° 30). Les accélérations de la poitrine étaient nettement inférieures à la limite de 60 g (environ 35 g) lors de la collision frontale et de la collision en biais. Ce sont les chiffres les plus bas obtenus avec les différents modèles mis à l'essai.

Le dossier du siège s'est renversé d'environ 20 degrés lors des deux essais, car la totalité de la force d'inertie du mannequin lui a été transmise (photographie n° 29). Le piètement du siège n'a subi qu'une très légère déformation.

SIÉGES	COLLISION FRONTALE		COLLISION OBLIQUE (30°)	
	Vitesse Maximale (mi/h)	Accélération Maximale (g)	Vitesse Maximale (mi/h)	Accélération Maximale (g)
Non Modifiés	29.3	32.1	30.1	30.9
Dossier à rembourrage profilé	30.0	31.2	30.7	31.7
Dossier moins rigide	29.8	30.8	30.2	30.7
Tourné vers l'arrière	30.1	31.2	30.4	30.2
Trois attaches	29.1	30.4	29.5	31.5
Attaches Multiples	29.9	31.2	29.5	31.6

TABLEAU 1: VITESSE ET ACCÉLÉRATION MAXIMALES DU CHARIOT

SIÉGES	COLLISION FRONTALE			COLLISION OBLIQUE (30°)		
	Accélération Maximale de la tête (g)	HIC	Accélération Maximale de la poitrine (g)	Vitesse Maximale de la tête (g)	HIC	Accélération Maximale de la poitrine (g)
Non Modifiés	199.8	1116.6	58.9	227.6	1181.4	79.8
Dossier à rembourrage profilé	200.4	1082.0	71.6**	92.1	1154.9	68.2
Dossier moins rigide	114.9	1079.8	48.6	145.4	1423.8	65.0
Tourné vers l'arrière	59.1	275.6	35.1	58.8	309.2	35.4
Trois attaches	58.2	634.0	60.3	88.5*	917.6	72.2**
Attaches Multiples	184.3*	558.8	65.3**	217.7*	834.5	68.7**

Note: * L'accélération maximale est atteinte lors de l'impact secondaire
** Valeur ayant dépassé 60 g pendant plus de 3 millièmes de seconde

TABLEAU 2: ACCÉLÉRATIONS DE LA TÊTE ET DE LA POITRINE ET VALEURS DU CRITÈRE DE BLESSURE DE LA TÊTE (HIC)

SIÉGES	CHARGES MAXIMALES AU NIVEAU DE LA CEINTURE (lb)							
	COLLISION FRONTALE				COLLISION OBLIQUE (30°)			
	Sous-abdo gauche	Sous-abdo droit	Baudrier gauche	Baudrier droit	Sous-abdo gauche	Sous-abdo droit	Baudrier gauche	Baudrie droit
Non Modifiés	1967	1953	-	-	2070	2221	-	-
Dossier à rembourrage profilé	2126	1396	-	-	2608	1938	-	-
Dossier moins rigide	1505	1509	-	-	2030	1626	-	-
Tourné vers l'arrière	85	76	-	-	116	142	-	-
Trois attaches	1930	1324	-	1147	2257	1279	-	N/A
Attaches Multiples	1373	1669	724	840	1534	1730	816	1163

TABLEAU 3: CHARGES MAXIMALES AU NIVEAU DE LA CEINTURE

SIÉGES	COLLISION FRONTALE		COLLISION OBLIQUE (30°)	
	Charge au fémur gauche (lb)	Charge au fémur droit (lb)	Charge au fémur gauche (lb)	Charge au fému droit (lb)
Non Modifiés	397	334	313	588
Dossier à rembourrage profilé	714	1555	839	708
Dossier moins rigide	694	1685	869	499
Tourné vers l'arrière	518	522	313	391
Trois attaches	2350	1456	1389	946
Attaches Multiples	2224	2181	1667	509

TABLEAU 4: CHARGES MAXIMALES AU NIVEAU DES FÉMURS

SIÈGES	AFFAISSEMENT DANS LA PARTIE SUPÉRIEURE CENTRALE DU DOSSIER (po)			
	COLLISION FRONTALE		COLLISION OBLIQUE (30°)	
	Siège Avant	Siège Arrière	Siège Avant	Siège Arrière
Non Modifiés	2.9	0.4	1.2	0
Dossier à rembourrage profilé	N/A	N/A	1.5	0.3
Dossier moins rigide	5.7	0.3	2.0	0.3
Tourné vers l'arrière	9.6	11.9	10.5	-
Trois attaches	N/A	N/A	0.6	0.4
Attaches Multiples	4.9	2.3	3.4	2.2

TABLEAU 5: AFFAISSEMENT APPROXIMATIF DANS LA PARTIE SUPÉRIEURE CENTRALE DU DOSSIER

COÛTS

Afin d'évaluer le coût d'intégration de chaque modèle à un autobus scolaire, nous avons demandé à la Blue Bird Body Company, de Fort Valley, en Géorgie, de nous faire parvenir certains renseignements. L'augmentation du coût de fabrication d'un siège incorporant les modifications nécessaires apparaît au tableau 6. Tous les chiffres sont exprimés en dollars canadiens, un taux de change de 40 % ayant été appliqué aux évaluations données par Blue Bird en dollars américains.

Ces chiffres ne tiennent pas compte des modifications que pourraient nécessiter la carrosserie de l'autobus. Les systèmes de retenue composés uniquement d'une ceinture sous-abdominale ne nécessiteraient sans doute pas de tels changements. Pour ce qui est des dispositifs à trois attaches et à attaches multiples, il faudrait analyser le plancher du véhicule pour savoir s'il pourrait supporter une charge accrue.

On ne tient pas compte non plus des modifications qui se sont avérées nécessaires suite aux essais. Il faudrait entre autres protéger le rétracteur situé au niveau du genou. Le siège faisant face à l'arrière devrait être renforcé quelque peu afin de réduire l'affaissement. Ces coûts varieraient bien sûr en fonction du modèle chosi.

Les modèles conçus et les coûts estimés étant établis à partir du siège d'un fabricant en particulier, les autres fabricants devraient adapter les modèles à leurs méthodes de fabrication.

Sièges	(1) Coût de modification de la charpente par par siège	(2) Coût du système de retenue par siège	(3) Augmentation total du coût par siège	Coût total pour un autobus de 66 places	Coût total pour un autobus de 22 places
Dossier à rembourrage profilé	$7.00	$33.00	$40.00	$880.00	$320.00
Dossier moins rigide	$20.30	$33.00	$53.30	$1172.60	$426.40
Tourné vers l'arrière	$26.60	$33.00	$59.60	$1311.20	$476.80
Trois attaches	$63.70	$52.50	$116.20	$2556.40	$929.60
Attaches Multiples	$109.20	$45.00	$154.20	$3392.40	$1233.60

TABLEAU 6: ESTIMATION DE L'AUGMENTATION DU COÛT DE PRODUCTION

(1) Ces chiffres représentent les coûts supplémentaires dûs aux modifications apportées au sièges Blue Bird standard. Il s'agit de la majoration des prix de gros facturés par Blue Bird à ses concessionnaires, ce qui ne comprend pas la marge bénéficiaire de ces derniers.

(2) Ces coûts sont les coûts réels des systèmes de retenue standard Bendix. Ces rétracteurs sont des articles de stock et aucun rabais n'est consenti sur les achats en grandes quantités.

(3) Il s'agit du prix de gros pour les concessionnaires d'autobus scolaires.

ESSAIS SUPPLÉMENTAIRES

I COLLISION FRONTALE - MANNEQUIN NON RETENU - SIÈGE AVEC DOSSIER A REMBOURRAGE PROFILÉ

Cet essai avait pour objet de mesurer les effets d'une collision frontale sur un passager non retenu faisant face à un dossier à rembourrage profilé. Le mannequin muni d'instruments était placé en position centrale, sans système de retenue, sur le siège arrière. Sur le siège avant, comportant un dossier à rembourrage profilé, un mannequin sans instruments de mesure était retenu en position centrale par une ceinture sous-abdominale (photographie n° 51). L'essai a été effectué à une vitesse de 49,4 km/h (30,9 mi/h), sous une accélération de 31,5 g.

Au cours de l'essai, le mannequin arrière a glissé jusqu'à ce que ses genoux touchent le siège avant (photographies nos 52 et 53). Suite à ce contact, le mannequin s'est plié au niveau des hanches et son menton a heurté le bord arrière supérieur du siège. Il s'est élevé et sa poitrine a frappé le dossier. La tête s'est inclinée vers le dossier selon un angle approximatif de 45 degrés. Le mannequin a rebondi à environ 380-500 mm (15-20 po) au-dessus du coussin du siège avant de reprendre sa position assise initiale. Le contact des genoux avec le siège avant a provoqué le bris du rétracteur (photographie n° 54), ce qui a permis aux sangles de la ceinture du siège avant de se dérouler complètement.

Les résultats de l'essai sont présentés au tableau 7. La valeur du critère de blessure à la tête obtenu lors de cet essai était de 581,6, ce qui est nettement inférieur au seuil de 1 000.

Le même essai exécuté avec un mannequin retenu par une ceinture sur le siège arrière a donné une valeur de 1 082. On a observé une accélération maximale de la tête de 200,4 g, comparativement à 115,4 g avec le mannequin non retenu.

L'accélération maximale de la poitrine enregistrée avec le mannequin non retenu a été de 66,1 g. Le seuil de 60 g a été dépassé pendant environ 7 ½ millièmes de seconde. Lors du même essai exécuté avec un mannequin attaché au siège arrière, on a obtenu une accélération maximale de la poitrine de 71,6 g. En revanche, la valeur de 60 g n'a pas été dépassée pendant plus de 3 millièmes de seconde.

Ces résultats ont donc démontré que les valeurs du critère de blessure à la tête sont plus basses lorsqu'un mannequin non retenu heurte un siège avec dossier à rembourrage profilé que lorsque le mannequin est retenu par une ceinture. Par contre, l'accélération de la poitrine excède de loin la limite établie lorsque le mannequin n'est pas retenu.

II COLLISION FRONTALE - SIÈGE AVEC DOSSIER MOINS RIGIDE

Cet essai avait pour but de déterminer si le passager subirait des blessures moins graves en heurtant le coin d'un dossier moins rigide au lieu du centre. On a placé un mannequin muni d'instruments près de l'allée, sur le siège arrière (photographie n° 55), en le retenant à l'aide d'une ceinture sous-abdominale. Sur le siège avant, un mannequin sans instruments était assis au centre, retenu lui aussi par une ceinture sous-abdominale. Le siège avant comportait un dossier moins rigide jamais utilisé. L'essai a été effectué à une vitesse de 48,6 km/h (30,4 mi/h), sous une accélération de 30,8 g.

Pendant l'essai, le mannequin a avancé d'environ 380 mm (15 po) avant que la ceinture ne se bloque. Ses genoux ont heurté violemment le siège placé devant lui avant le resserrement de la ceinture, provoquant ainsi l'affaissement du dossier préalablement au contact de la tête. Celle-ci a frappé le coin du siège au niveau des yeux et le cou s'est renversé vers l'arrière selon un angle d'environ 90 degrés. Le dossier a subi de fortes déformations (photographie n° 56). Les résultats de l'essai apparaissent au tableau 7.

La courbe d'accélération de la tête est pratiquement identique à celle obtenue lors de l'essai de collision frontale avec ce modèle de siège et le mannequin assis au centre, mais l'accélération maximale est plus élevée (166,9 g contre 114,3 g) et la valeur du critère de blessure à la tête est beaucoup plus importante (1 670,5 contre 1 079,8). Cela semble indiquer, comme on le pensait, que le coin de l'armature du dossier est plus rigide que sa partie centrale.

La ceinture du siège placé devant s'est cassée au cours de l'essai. Apparemment, c'est le logement en plastique servant à maintenir la ceinture au niveau du siège qui en a été la cause. Puisqu'il s'agit du seul essai au cours duquel est survenu un bris de ceinture, cet incident a été considéré comme un fait isolé. Cela démontre toutefois à quel point il est important de bien concevoir les surfaces contre lesquelles la courroie risque de frotter pendant une collision.

III COLLISION FRONTALE - DISPOSITIFS À TROIS ATTACHES - DEUX MANNEQUINS SUR LE SIÈGE

On cherchait par cet essai à déterminer si le siège pouvait supporter la charge transmise par deux passagers. On a utilisé pour cela un siège neuf muni d'un dispositif de retenue à trois attaches. Deux mannequins ont été disposés sur le siège arrière, aux places extérieures (photographie n° 57). Seul le mannequin assis du côté de la fenêtre était équipé d'instruments. L'autre mannequin ayant été endommagé au cours d'essais antérieurs, on a fixé ses bras contre son torse et sa tête sur ses genoux à l'aide de sangles (photographie n° 58). Les deux mannequins étaient retenus au moyen d'un dispositif à trois attaches. Le siège avant était neuf et muni d'un dispositif à attaches multiples. Aucun mannequin n'était assis sur ce siège. L'essai a été effectué à une vitesse de 47,2 km/h (29,5 mi/h) sous une accélération de 31 g.

Au cours de la collision, les genoux des deux mannequins ont heurté le siège avant, probablement en raison du relâchement de la sangle et de l'affaissement important du dossier. Aucun contact ne s'est produit au niveau du visage. Le cou du mannequin muni d'instruments ayant fléchi vers l'avant d'environ 90 degrés, le haut de la tête a frappé le siège avant (photographie n° 59). Les deux mannequins ont réintégré leur place initiale. Les résultats de l'essai sont donnés au tableau 7.

Pour cet essai, on a obtenu une accélération maximale de la tête de 215 g et un critère de blessure à la tête d'une valeur de 1 316,9. Avec un seul mannequin assis en position centrale, l'accélération maximale a été de 58,2 g et la valeur du critère de blessure à la tête 634. Cet écart indique

combien il est important d'éliminer tout choc à la tête si l'on désire abaisser la valeur du critère de blessure à la tête à un niveau acceptable. Dans les deux cas, l'accélération de la poitrine était inférieure au seuil déterminé.

IV COLLISION FRONTALE - SIÈGE TOURNÉ VERS L'ARRIÈRE - TROIS MANNEQUINS SUR LE SIÈGE

Cet essai avait pour objet d'évaluer la protection passive offerte à trois passagers assis sur un siège à dossier haut faisant face à l'arrière. Le siège était placé de façon à simuler l'orientation vers l'arrière de l'autobus scolaire. On n'a employé qu'un seul siège en raison du manque de place sur la plate-forme d'essai. Le siège n'avait jamais été utilisé et était doté de ceintures sous-abdominales. On y a placé deux mannequins du 5^{e} percentile adulte du sexe féminin et un mannequin du 5^{e} percentile enfant de six ans (photographie n° 60). Un seul mannequin adulte était muni d'instruments. L'autre mannequin adulte étant endommagé, on a fixé sa tête et ses bras de la façon décrite par l'essai avec les deux mannequins et le dispositif de retenue à trois attaches. Cet essai a été effectué à une vitesse de 49,4 km/h (30,9 mi/h), sous une accélération de 31 g.

Au cours de cet essai, le support latéral s'est cassé (photographies n^{os} 61 et 62), et le siège s'est affaissé vers l'arrière de façon plus prononcée que la normale. À la fin de l'essai, le siège avait basculé jusqu'à environ 15 degrés au-dessus de l'horizontale (photographie n° 63). Les jambes des mannequins ont été projetées vers le haut, étant donné l'absence de siège en avant du siège d'essai. S'il y en avait eu un, la partie inférieure des jambes l'aurait heurté violemment. On donne les résultats de cet essai au tableau 7.

L'accélération nettement plus faible de la poitrine enregistrée lorsque cet essai a été exécuté avec un seul mannequin, par rapport à l'essai de collision frontale (23,8 g contre 35,1 g), pourrait être attribuée au bris du support de siège.

DESCRIPTION	ACCÉL MAX TÊTE(g)	HIC	ACCÉL MAX POITR.(g)	FÉMUR GAUCHE (lb)	FÉMUR DROIT (lb)	CEINT. SOUS-ABDOM. GAUCHE (lb)	CEINT. SOUS-ABDOM. DROIT (lb)	CEINT. BAUDRIER (lb)	REMARQUES
Rembourrage profilé - mannequin non-retenu	115.4	581.6	66.1	1588.9	1693.8	-	-	-	Accélération poitrine excède 60 g pendant 8 ms 31.5 g 49.4 km/h
Moins rigide mannequin côté allée retenu	166.9	1670.5	Données perdues	1314.2	1567.1	1220.2	1303.5	-	Brise de la ceinture sous-abdom. avant pendant l'essai 30.8 g 48.6 km/h
	Courbe d'accélération de la tête pratiquement identique à celle obentue avec le dossier moins rigide, sauf que la valeur maximale est de 166.9 au lieu de 114.3								
Trois attaches deux mannequins sur le siège	215 (éval.)	1316.9	61.1	2079.2	1535.0	1181.1	1365.9	935.2	Deux mannequins de 5e percentile de sexe féminin. Impact de la tête du mannequin de droite contre la boite de chronométrage en rebondissant 31.0 g 47.2 km/h
	Accélération de la tête beaucoup plus élevée que celle enregistrée avec collision frontale et un mannequin sur le siège. Accélération de la poitrine pratiquement identique. Critère de blessure de la tête beaucoup plus élevé.								
Face à l'arrière 3 mannequins 2x5e perc. sexe fém 1x6 ans	Données perdues	Données perdues	23.8	181.4	247.0	157.6	-3.35	-	49.4 km/h 31.0 g
	Accélération de la poitrine de 35.1 g pour autre essai avec un mannequin. Résultat plus faible probablement attribuable au bris du support latéral.								

TABLEAU 7: RÉSULTATS DES ESSAI SUPPLÉMENTAIRES

DIVERS

Lorsque l'on envisage la possibilité d'installer des ceintures de sécurité dans les autobus scolaires, plusieurs facteurs indirects entrent en ligne de compte. Si l'on choisissait un dispositif à trois attaches, les modifications apportées à la charpente du siège rendraient celui-ci très rigide en comparaison avec le siège actuel. Il pourrait être également nécessaire de renforcer le plancher afin qu'il résiste à des charges accrues pendant un accident. En raison de la plus grande rigidité du dossier, il serait indispensable que chaque passager soit constamment fixé à son siège par le dispositif de retenue. Dans le cas contraire, il pourrait se produire de très violents chocs lors d'un accident.

La pose du dispositif de retenue obligerait à prévoir une place assise, munie d'un système de retenue en bon état, pour chaque écolier. Dans un grand nombre de cas, cela entraînerait une augmentation du nombre d'autobus et de parcours pour transporter tous les écoliers.

Il faudrait également déterminer à qui revient la responsabilité de veiller à ce tous les passagers attachent leur ceinture. Toutes les provinces canadiennes ont légiféré en cette matière ou sont en train de le faire. Dans la plupart des provinces, il est interdit de conduire un véhicule automobile dont les passagers n'ont pas attaché leur ceinture de la manière appropriée, lorsque le véhicule en est équipé. Le plus souvent la loi s'applique également aux passagers de moins de 16 ans (18 ans au Manitoba). Il incomberait donc au conducteur de veiller à ce chaque passager sous la limite d'âge soit assis et bien attaché avant de faire démarrer l'autobus. Le respect de ces lois présente cependant certains problèmes d'exploitation.

RÉTRACTEURS

Il faudrait se renseigner sur les divers modèles de rétracteurs à blocage avant de faire un choix. Par ailleurs, ils conviendrait d'écarter les ceintures manuelles car les risques de mauvais ajustement sont trop grands.

Les rétracteurs à blocage d'urgence sont conçus pour assurer le maximum de confort et de commodité lors de l'usage de la ceinture. Ils éliminent aussi tous les problèmes de serrage excessif pouvant être causés par les rétracteurs à blocage automatique lorsque le véhicule est en mouvement. Le degré de serrage varie selon la longueur de ceinture à réenrouler pour passer à un autre cran sur le rétracteur.

Le tableau 4 présente les forces enregistrées sur les fémurs du mannequin. Dans le cas du siège non modifié, muni de ceintures sous-abdominales à ajustement manuel, les charges au niveau des fémurs ont été très faibles, ce qui indique que le mannequin aurait très peu glissé avant que la ceinture ne le retienne. Lors des essais de collision réelle effectués en 1984, on a employé des ceintures manuelles, identiques à celles utilisées pour l'essai des sièges non modifiés, sur tous les mannequins. Dans tous les cas, les charges enregistrées au niveau des fémurs ont été très basses. Les valeurs relativement plus élevées enregistrées au cours de ce programme d'essais peuvent s'expliquer en partie par le déroulement des sangles et le court laps de temps écoulé entre l'application de la force et le blocage du rétracteur.

Les charges enregistrées au niveau des fémurs lors des essais étaient inférieures à la limite acceptable de 2 250 livres, à l'exception du fémur gauche avec le système à trois attaches. Cela peut être dû à la rigidité accrue du dossier du siège avant.

La projection des films au ralenti a montré le mannequin glissant sur le coussin du siège avant le blocage du rétracteur. Dans de nombreux cas, les rétracteurs ont été cassés par la jambe du mannequin arrière, ce qui a provoqué le déroulement de la ceinture avant et laissé le passager sans protection.

S'il est possible de résoudre les problèmes de serrage excessif, aucune considération technique ne s'oppose à l'emploi de rétracteurs autobloquants. La pose de rétracteurs à blocage d'urgence ou de rétracteurs autobloquants avec un système à ceinture sous-abdominale assurerait un plus grand confort au passager et accroîtrait la fréquence d'utilisation de la ceinture. Avec le dispositif à trois attaches, le rétracteur à blocage d'urgence serait nécessaire en raison de la plus grande liberté de mouvement qu'il offre à la partie supérieure du corps.

CONCLUSIONS

Voici les conclusions que l'on peut tirer de ce programme d'essais:

1. Le siège faisant face à l'arrière s'est révélé efficace dans la réduction des blessures.

2. La ceinture-baudrier faisant partie du dispositif à trois attaches a permis d'abaisser la valeur du critère de blessure à la tête à un niveau acceptable, mais n'a pas réduit l'accélération maximale de la poitrine. Avec ce type de système, il faudrait absolument que le passager attache sa ceinture en raison de la plus grande rigidité de la charpente du siège.

3. Les sièges non modifiés faisant face à l'avant et comportant uniquement des ceintures sous-abdominales n'ont pas donné de bons résultats en ce qui a trait à la réduction de la valeur du critère de blessure à la tête.

4. Le dispositif à attaches multiples s'est révélé encombrant et a permis au mannequin de glisser sous le dispositif de retenue.

5. Il convient de reconsidérer l'emplacement des rétracteurs sur l'armature inférieure du siège afin d'éliminer les risques de bris par la jambe du passager arrière.

6. Les modifications apportées aux trois dispositifs comportant uniquement des ceintures sous-abdominales ont coûté moins de 60 $ par siège, alors que celles effectuées sur les deux dispositifs à ceinture-baudrier ont dépassé 115 $ par siège. Ce sont les rétracteurs qui entraînent les hausses les plus importantes pour tous les systèmes.

RECOMMANDATIONS

Nous faisons les recommandations suivantes en nous fondant sur les résultats des essais effectués dans le cadre de cette étude.

1) Le système avec siège faisant face à l'arrière devrait faire l'objet d'autres études et essais. Il faudrait rendre le dossier plus rigide afin de réduire l'affaissement dû au poids du passager. On devrait procéder à une démonstration avec un autobus doté de sièges faisant face à l'arrière dans le but d'étudier les problèmes éventuels d'exploitation ainsi que le degré d'acceptation des sièges par les écoliers. Par ailleurs, il serait souhaitable de modifier la norme NSVAC 222 qui ne permet d'installer pour le moment que des sièges faisant face à l'avant.

2) Il faudrait protéger les rétracteurs afin d'éviter leur destruction sous l'effet des chocs.

3) Les dispositifs de retenue à trois attaches peuvent offrir une meilleure protection aux passagers, mais il faudrait que les fabricants d'autobus s'efforcent de réduire les charges au niveau de la poitrine et étudient la question de la solidité des planchers.

4) Il faudrait écarter le dispositif de retenue à attaches multiples en raison des problèmes de glissement sous la ceinture. Ce système a également été jugé encombrant, difficile à fixer et à ajuster.

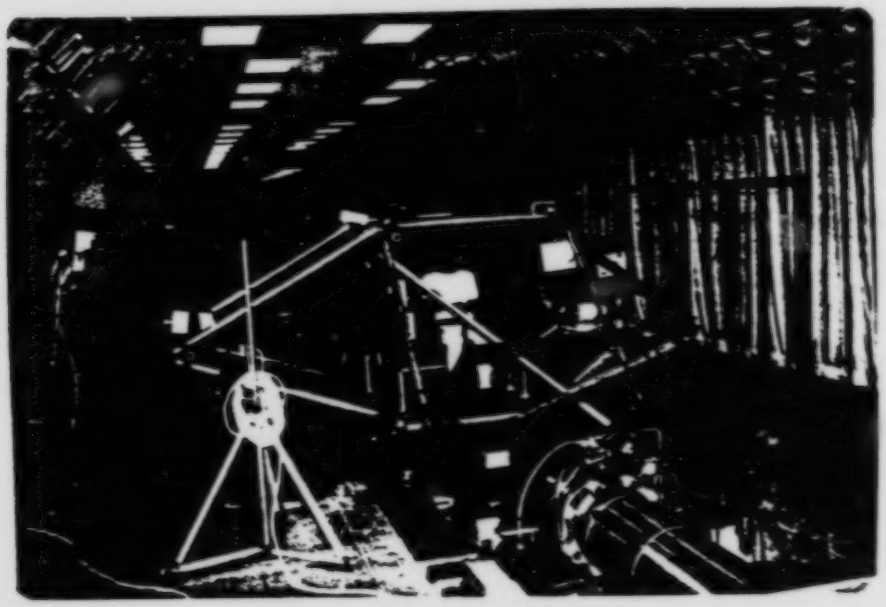
LISTE DES PHOTOGRAPHIES

1. Chariot d'essai au DCIEM
2. Siège Blue Bird non modifié - coussin enlevé
3. Mode de fixation des rétracteurs sur la charpente du siège
4. Siège avec dossier à rembourrage profilé - avant l'essai
5. Siège avec dossier moins rigide - charpente
6. Siège avec dossier moins rigide - coin supérieur de la charpente
7. Siège avec système de retenue à trois attaches - charpente
8. Siège avec système de retenue à trois attaches - arrière de la charpente
9. Siège avec système de retenue à attaches multiples - 3 places assises
10. Siège avec système de retenue à attaches multiples - points d'ancrage supérieurs
11. Siège faisant face à l'arrière - charpente
12. Siège faisant face à l'arrière - charpente - vue de profil
13. Siège Blue Bird non modifié - avant l'essai
14. Siège Blue Bird non modifié - après l'essai de collision frontale
15. Siège Blue Bird non modifié - après l'essai de collision frontale - impact de la tête et des genoux
16. Siège Blue Bird non modifié - après l'essai de collision frontale - déformation du dossier
17. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision frontale - déroulement de la ceinture du siège avant
18. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision frontale - impact de la tête et des genoux
19. Siège avec dossier à rembourrage profilé - avant l'essai de collision oblique

20. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision oblique
21. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision oblique - impact de la tête et des genoux
22. Siège Blue Bird non modifié - avant l'essai de collision oblique
23. Siège Blue Bird non modifié - après l'essai de collision oblique - impact de la tête et des genoux
24. Siège avec dossier moins rigide - avant l'essai
25. Siège avec dossier moins rigide - après l'essai de collision frontale - déroulement de la ceinture du siège avant
26. Siège avec dossier moins rigide - après l'essai de collision frontale - impact de la tête et des genoux
27. Siège avec dossier moins rigide - après l'essai de collision frontale - déformation du dossier
28. Siège faisant face à l'arrière - avant l'essai - tête du mannequin fixé sur les genoux
29. Siège faisant face à l'arrière - après l'essai de collision frontale - affaissement du dossier
30. Siège faisant face à l'arrière - après l'essai de collision frontale - impact de la tête et des genoux
31. Siège avec système de retenue à trois attaches - avant l'essai
32. Siège avec système de retenue à trois attaches - avant l'essai - ajustement de la ceinture
33. Siège avec système de retenue à trois attaches - après l'essai de collision frontale
34. Siège avec système de retenue à trois attaches - après l'essai de collision frontale - impact des genoux seulement

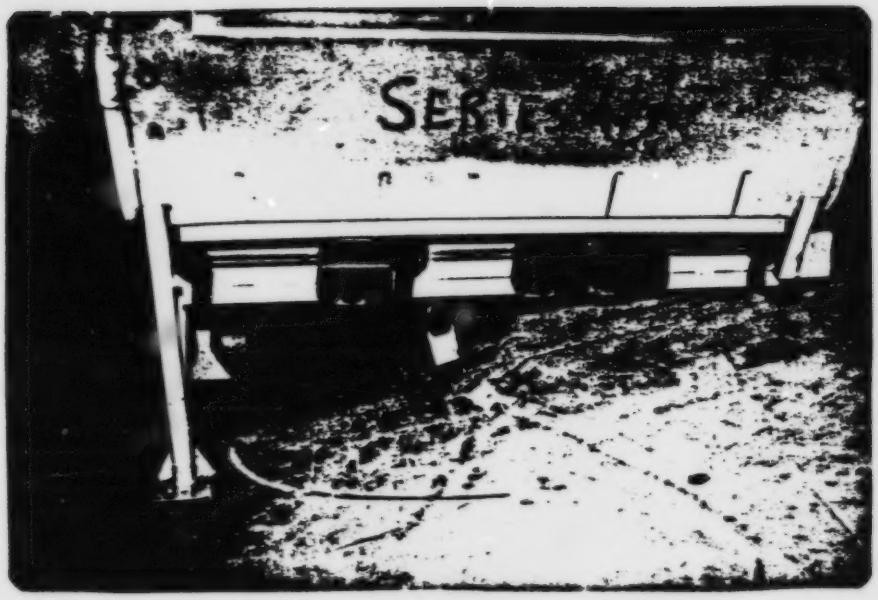
35. Siège avec système de retenue à attaches multiples - avant l'essai
36. Siège avec système de retenue à attaches multiples - avant l'essai - ajustement de la ceinture
37. Siège avec système de retenue à attaches multiples - après l'essai de collision frontale
38. Siège avec système de retenue à attaches multiples - après l'essai de collision frontale - impact des genoux seulement
39. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision frontale - rétracteur cassé (typique)
40. Siège avec dossier moins rigide - avant l'essai de collision oblique
41. Siège avec dossier moins rigide - après l'essai de collision oblique
42. Siège avec dossier moins rigide - après l'essai de collision oblique - impact de la tête et des genoux
43. Siège avec système de retenue à trois attaches - avant l'essai de collision oblique
44. Siège avec système de retenue à trois attaches - après l'essai de collision oblique
45. Siège avec système de retenue à trois attaches - après l'essai de collision oblique - impact des genoux
46. Siège avec système de retenue à attaches multiples - avant l'essai de collision oblique
47. Siège avec système de retenue à attaches multiples - après l'essai de collision oblique - glissement sous la ceinture
48. Siège avec système de retenue à attaches multiples - après l'essai de collision oblique - impact des genoux
49. Siège faisant face à l'arrière - avant l'essai de collision oblique
50. Siège faisant face à l'arrière - après l'essai de collision oblique - affaissement du dossier

51. Siège avec dossier à rembourrage profilé - avant l'essai de collision frontale - mannequin non retenu
52. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision frontale - déroulement de la ceinture du siège avant - mannequin non retenu
53. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision frontale - impact de la tête et des genoux - mannequin non retenu
54. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision frontale - rétracteur cassé - mannequin non retenu
55. Siège avec dossier moins rigide - avant l'essai de collision frontale - mannequin assis du côté de l'allée
56. Siège avec dossier moins rigide - avant l'essai de collision frontale - mannequin assis du côté de l'allée - déformation du dossier
57. Siège avec système de retenue à trois attaches - avant l'essai de collision frontale - deux mannequins sur le siège
58. Siège avec système de retenue à trois attaches - après l'essai de collision frontale - deux mannequins sur le siège
59. Siège avec système de retenue à trois attaches - après l'essai de collision frontale - deux mannequins sur le siège - impact de la tête et des genoux
60. Siège faisant face à l'arrière - avant l'essai de collision frontale - trois mannequins sur le siège
61. Siège faisant face à l'arrière - après l'essai de collision frontale - support latéral cassé
62. Siège faisant face à l'arrière - après l'essai de collision frontale - trois mannequins sur le siège
63. Siège faisant face à l'arrière - après l'essai de collision frontale - trois mannequins sur le siège - affaissement du dossier

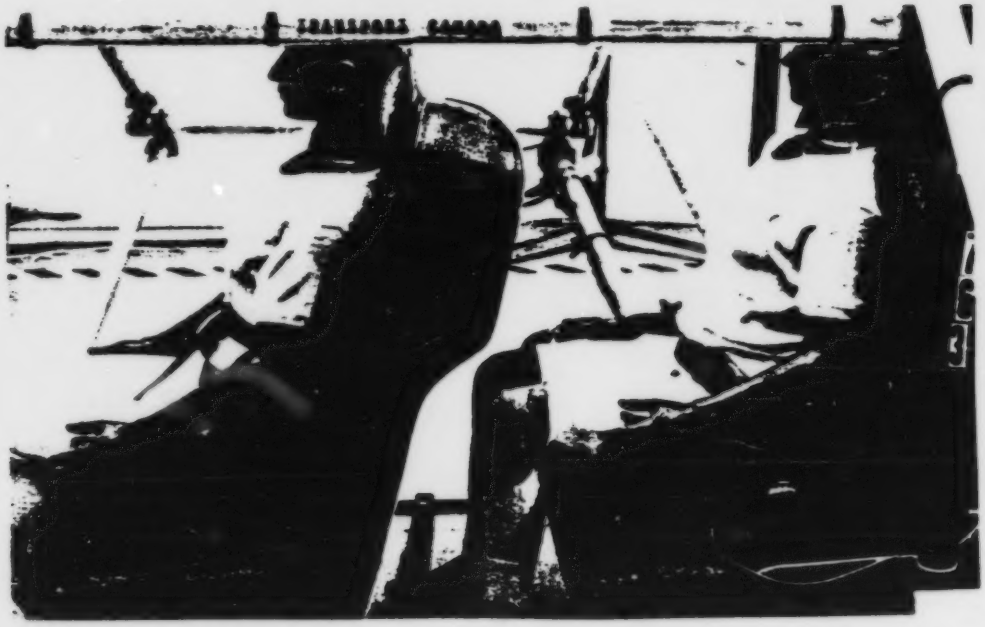


1. Chariot d'essai au DCIEM

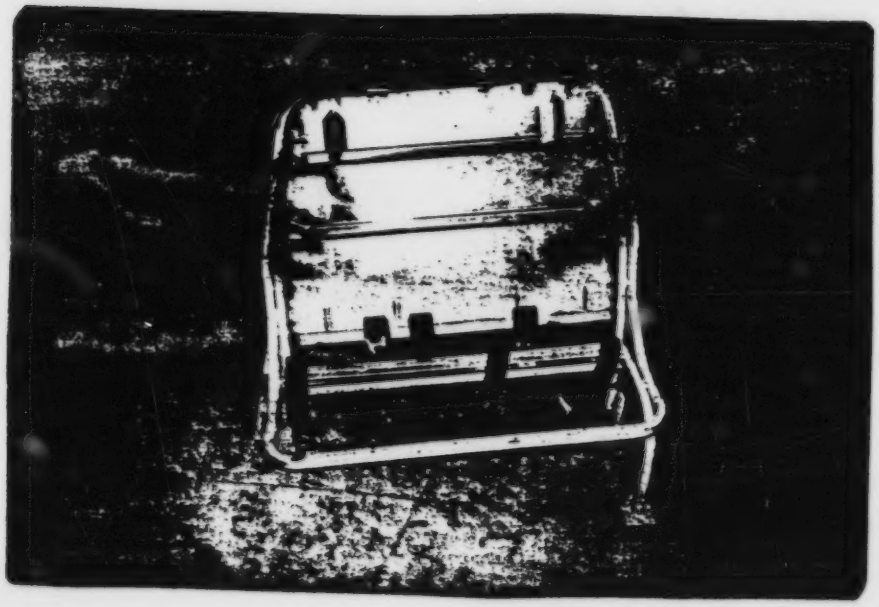
2. Siège Blue Bird non modifié - coussin enlevé



3. Mode de fixation des rétracteurs sur la charpente du siège

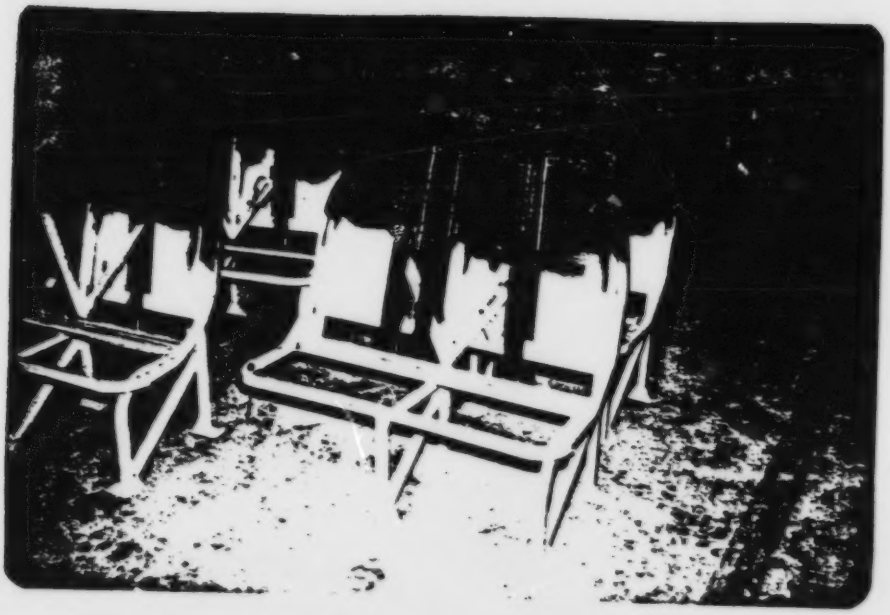


4. Siège avec dossier à rembourrage profilé - avant l'essai

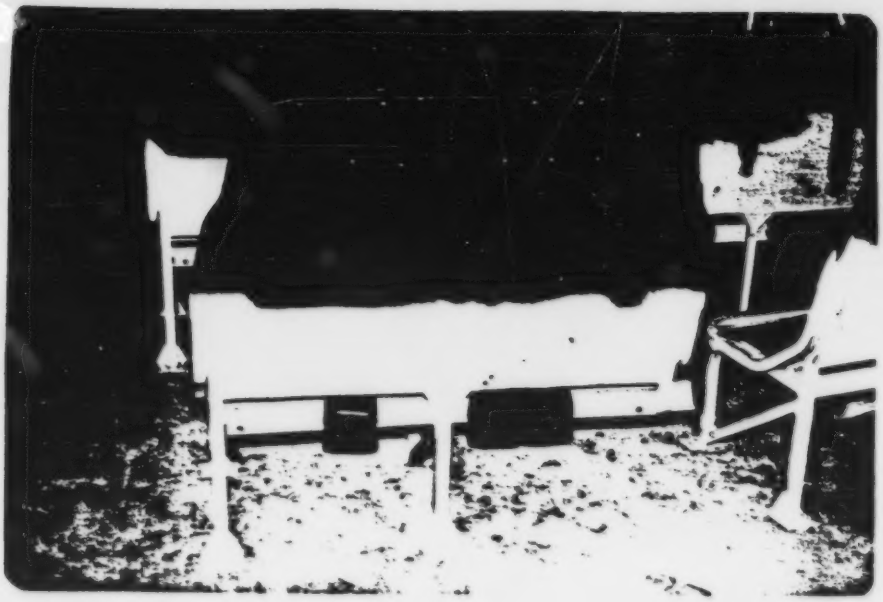


5. Siège avec dossier moins rigide - charpente

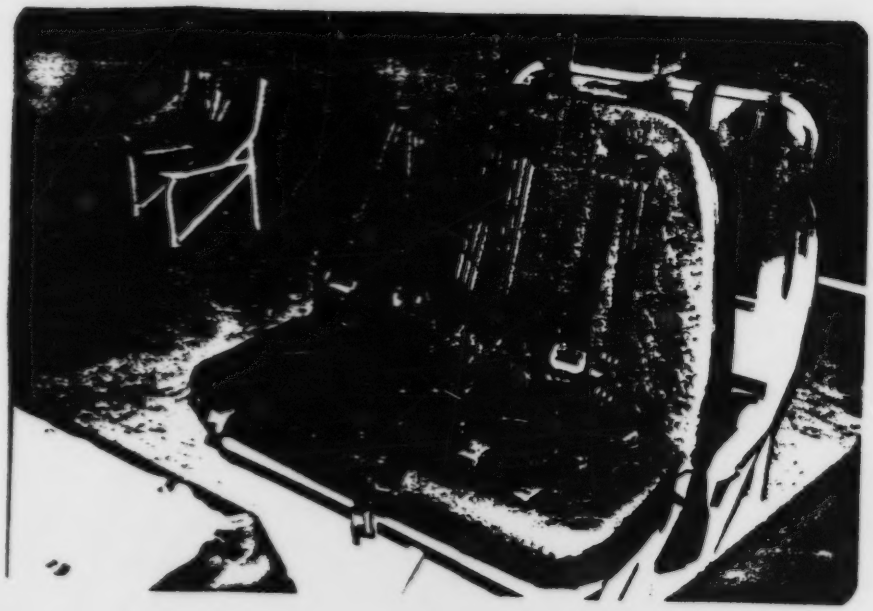
6. Siège avec dossier moins rigide - coin supérieur de la charpente



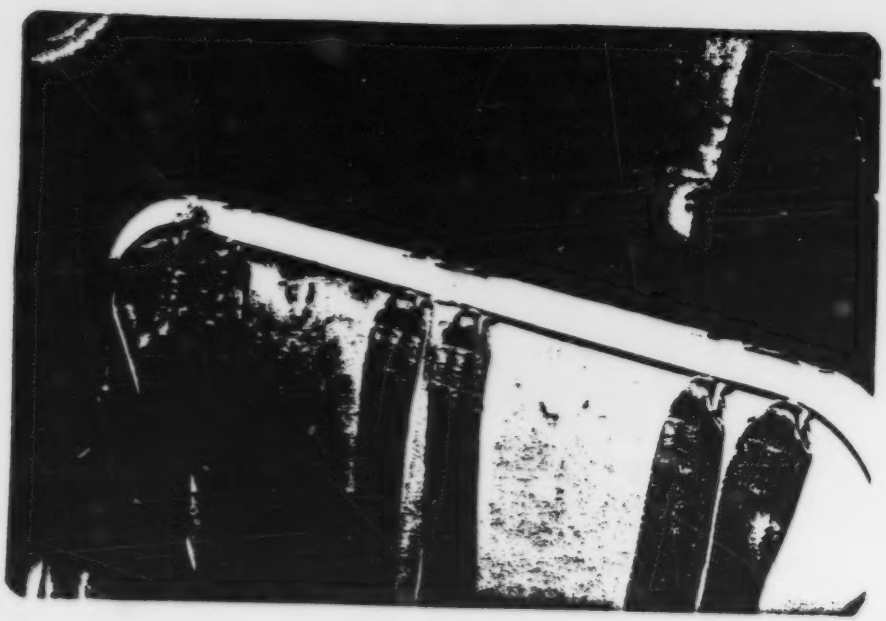
7. Siège avec système de retenue à trois attaches - charpente



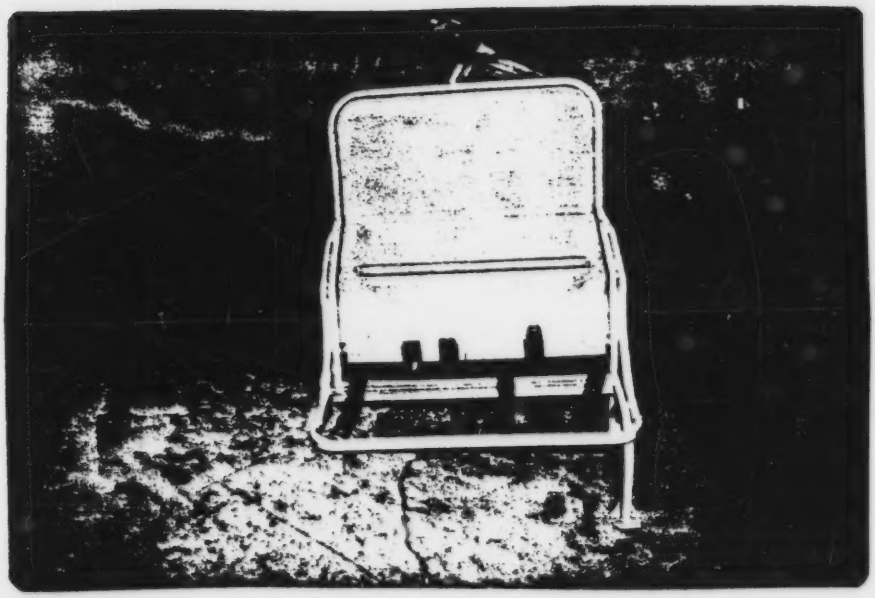
8. Siège avec système de retenue à trois attaches - arrière de la charpente



9. Siège avec système de retenue à attaches multiples - 3 places assises

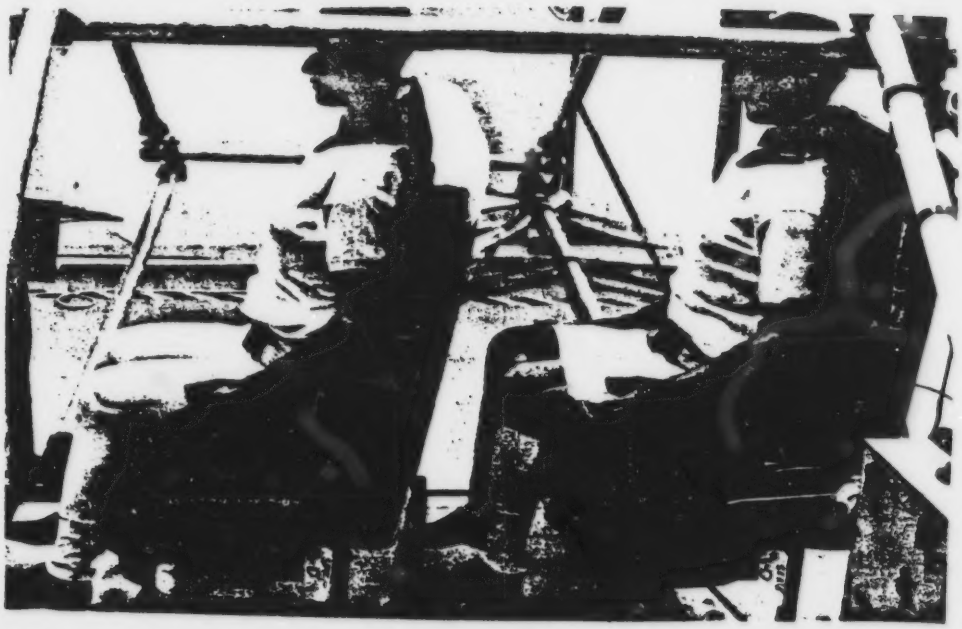


10. Siège avec système de retenue à attaches multiples - points d'ancrage supérieurs

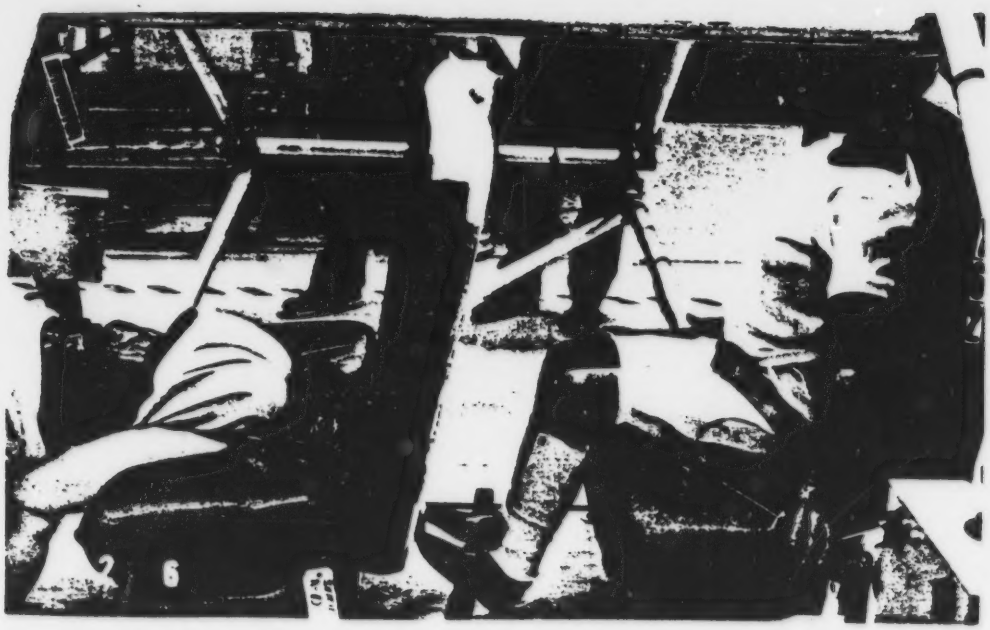


11. Siège faisant face à l'arrière - charpente

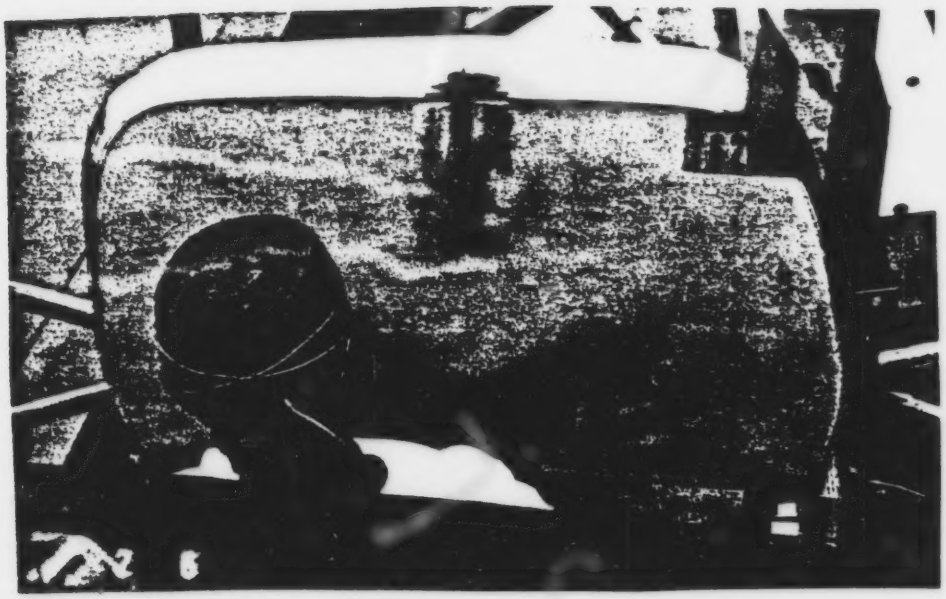
12. Siège faisant face à l'arrière - charpente - vue de profile



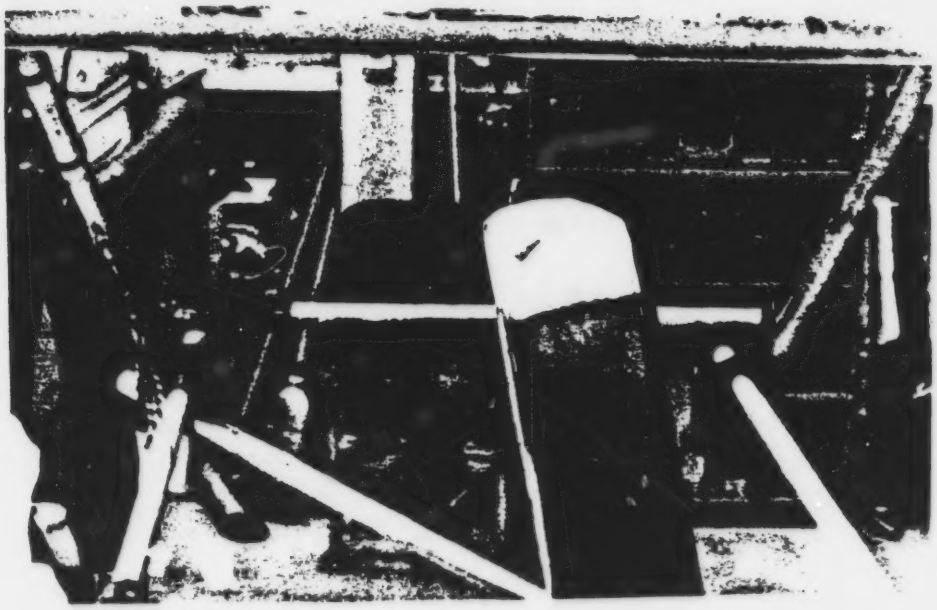
13. Siège Blue Bird non modifié - avant l'essai



14. Siège Blue Bird non modifié - après l'essai de collision frontale



15. Siège Blue Bird non modifié - après l'essai de collision frontale - impact de la tête et des genoux

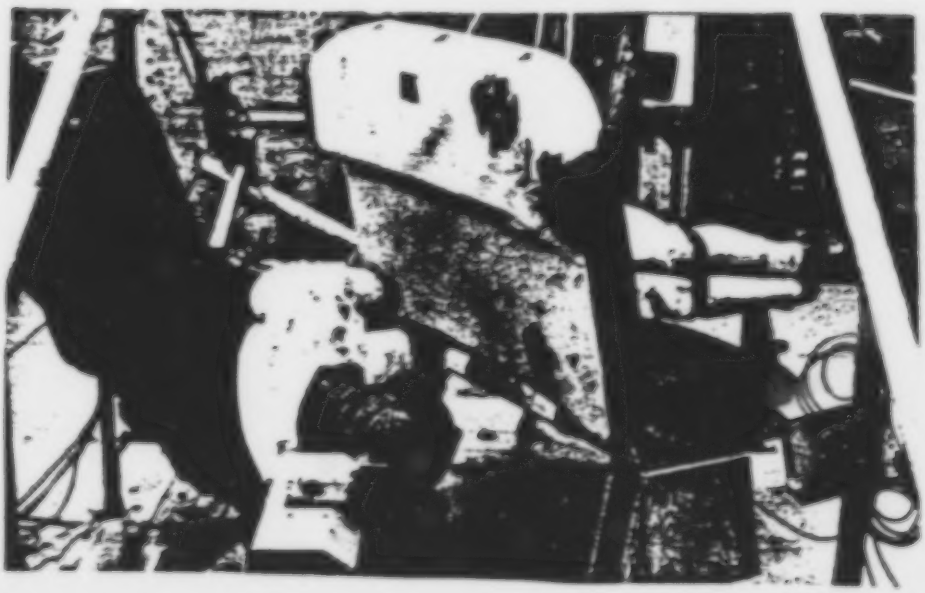


16. Siège Blue Bird non modifié - après l'essai de collision frontale - déformation du dossier

17. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision frontale - déroulement de la ceinture du siège avant

18. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision frontale - impact de la tête et des genoux

19. Siège avec dossier à rembourrage profilé - avant l'essai de collision oblique

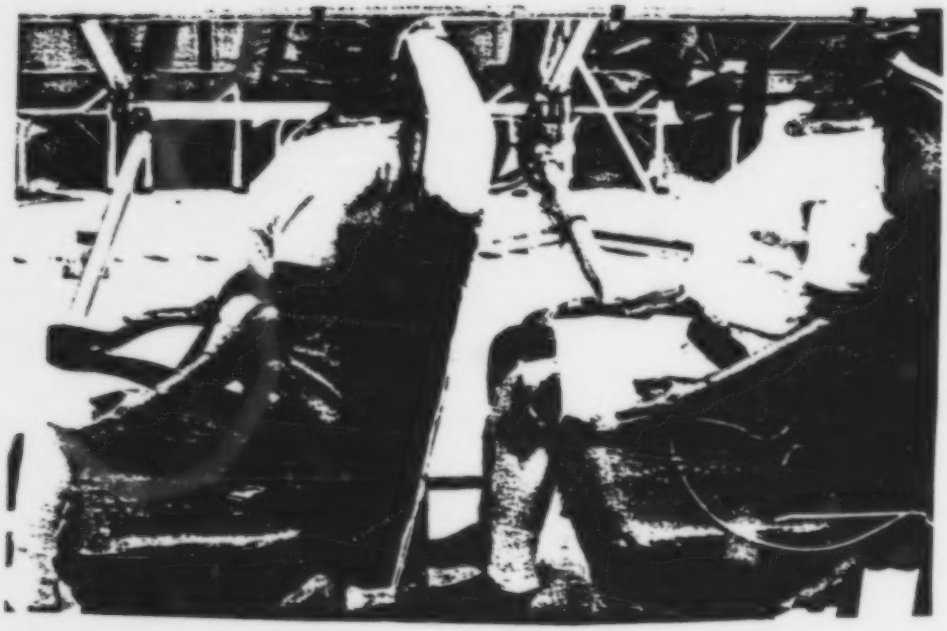


20. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision oblique

21. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision oblique - impact de la tête et des genoux

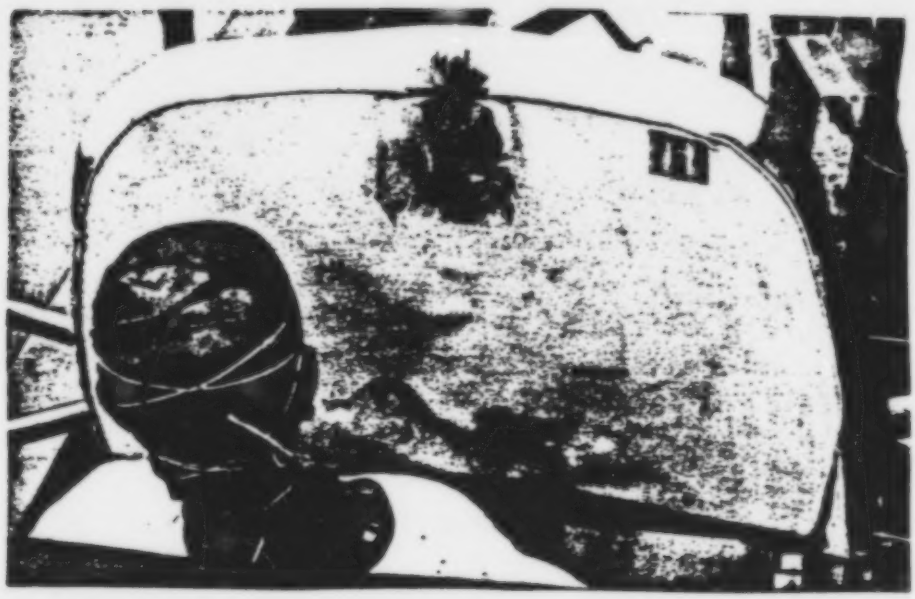
22. Siège Blue Bird non modifié - avant l'essai de collision oblique

23. Siège Blue Bird non modifié - après l'essai de collision oblique - impact de la tête et des genoux



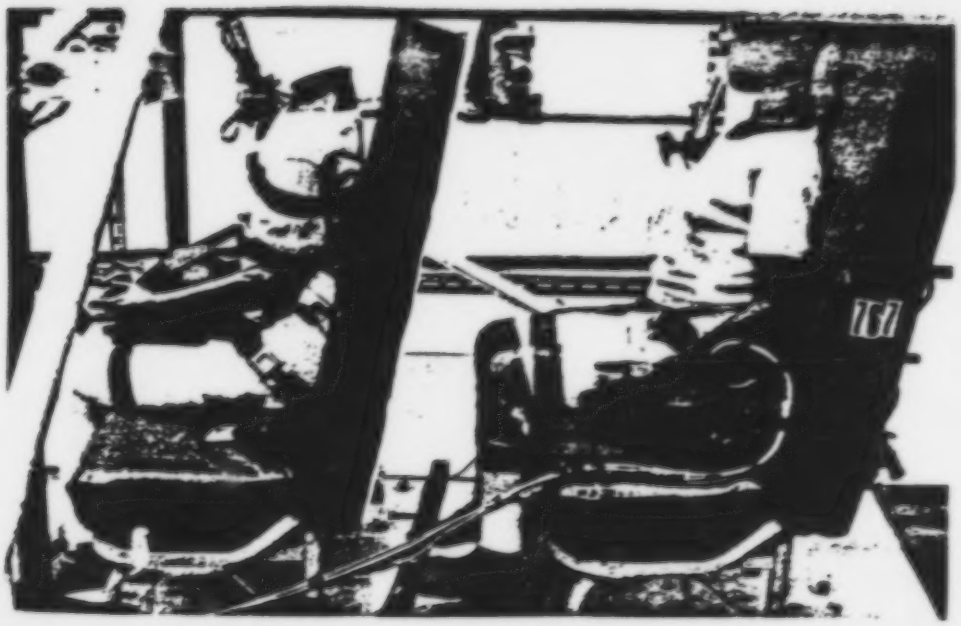
24. Siège avec dossier moins rigide - avant l'essai

25. Siège avec dossier moins rigide - après l'essai de collision frontale - déroulement de la ceinture du siège avant



26. Siège avec dossier moins rigide - après l'essai de collision frontale - impact de la tête et des genoux

27. Siège avec dossier moins rigide - après l'essai de collision frontale - déformation du dossier

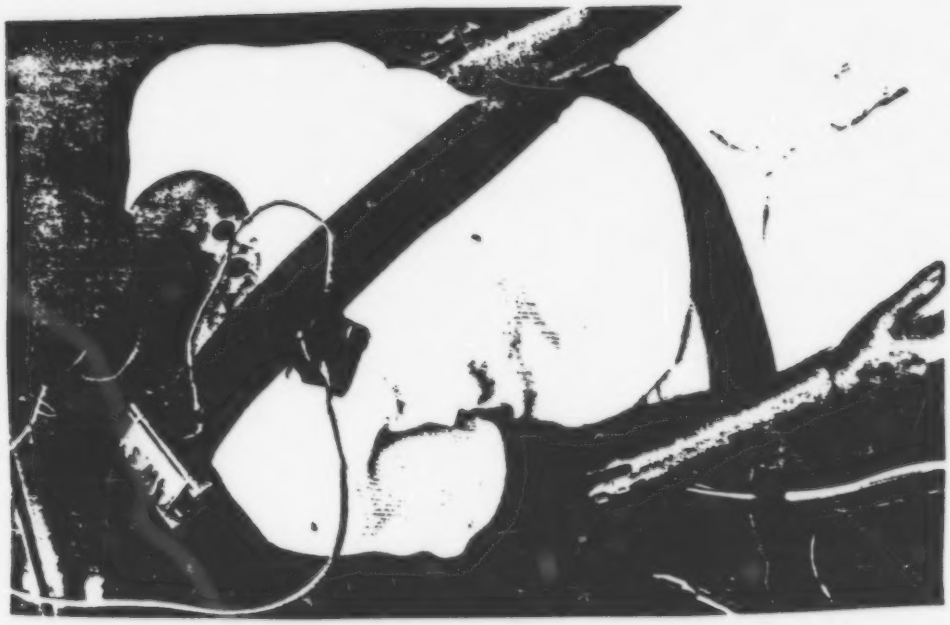


28. Siège faisant face à l'arrière - avant l'essai - tête du mannequin fixé sur les genoux

29. Siège faisant face à l'arrière - après l'essai de collision frontale - affaissement du dossier

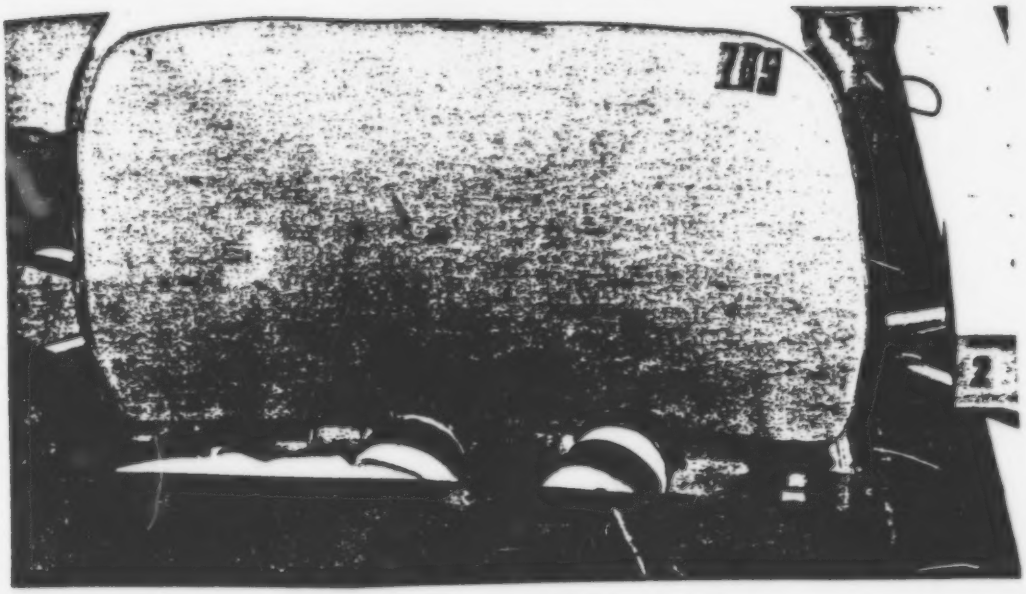
30. Siège faisant face à l'arrière - après l'essai de collision frontale - impact de la tête et des genoux

31. Siège avec système de retenue à trois attaches - avant l'essai

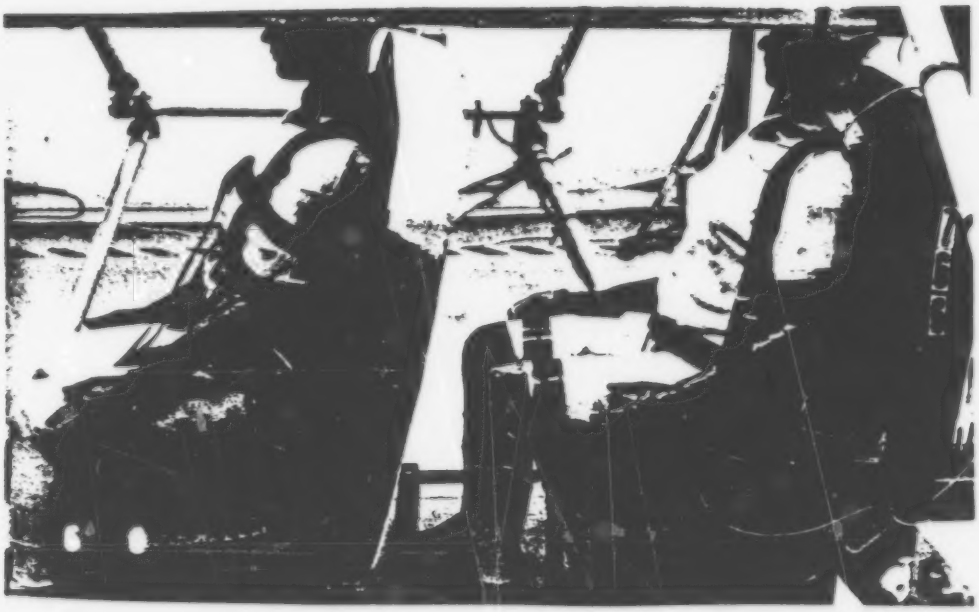


32. Siège avec système de retenue à trois attaches - avant l'essai - ajustement de la ceinture

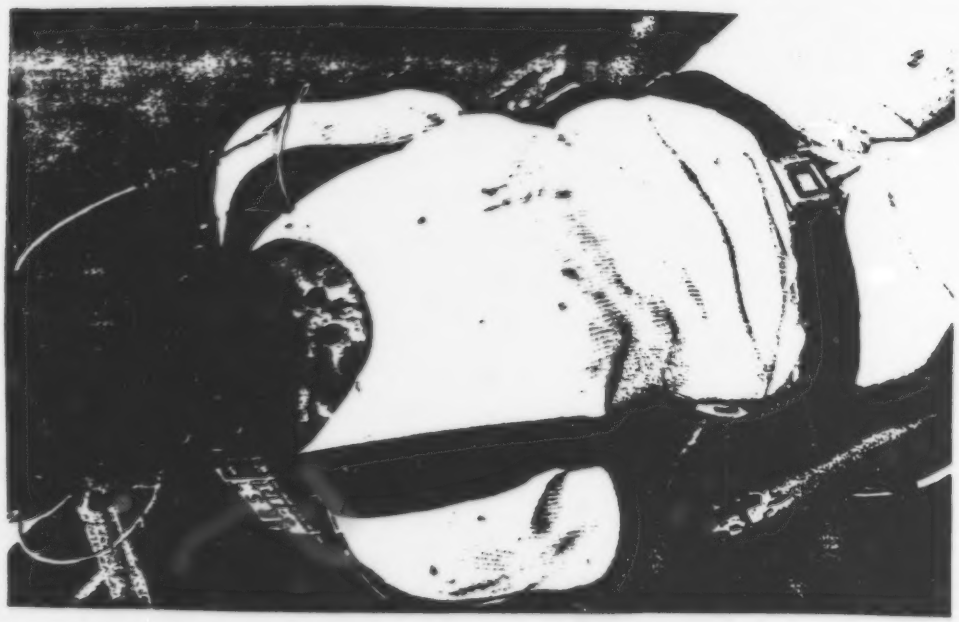
33. Siège avec système de retenue à trois attaches - après l'essai de collision frontale



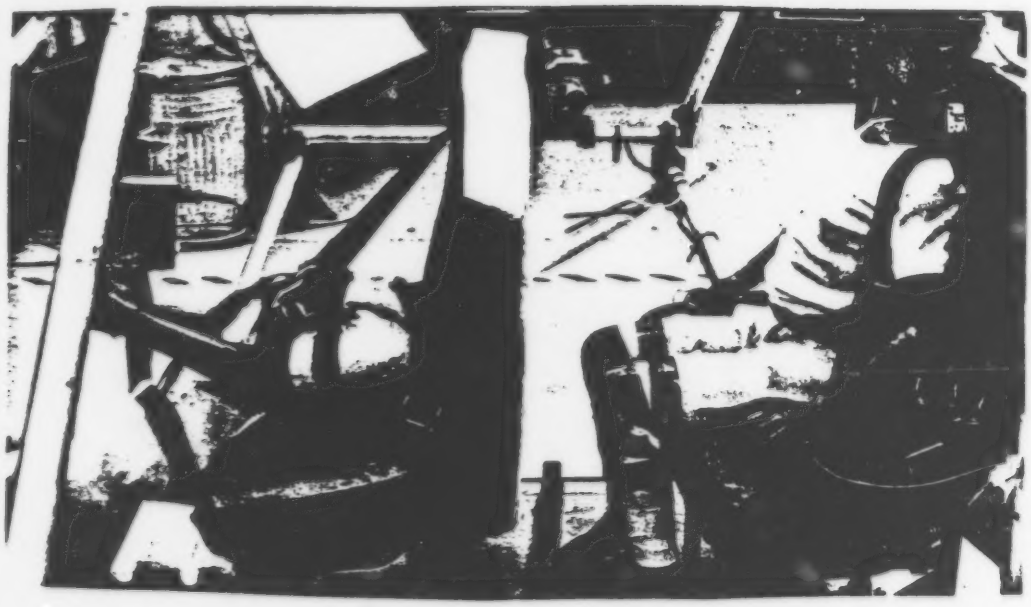
34. Siège avec système de retenue à trois attaches - après l'essai de collision frontale - impact des genoux seulement



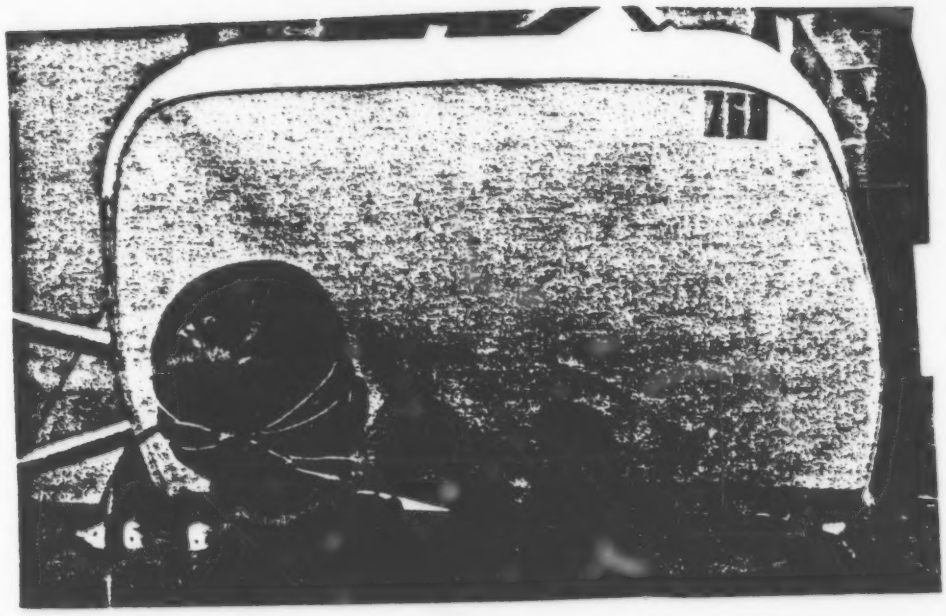
35. Siège avec système de retenue à attaches multiples - avant l'essai



36. Siège avec système de retenue à attaches multiples - avant l'essai - ajustement de la ceinture



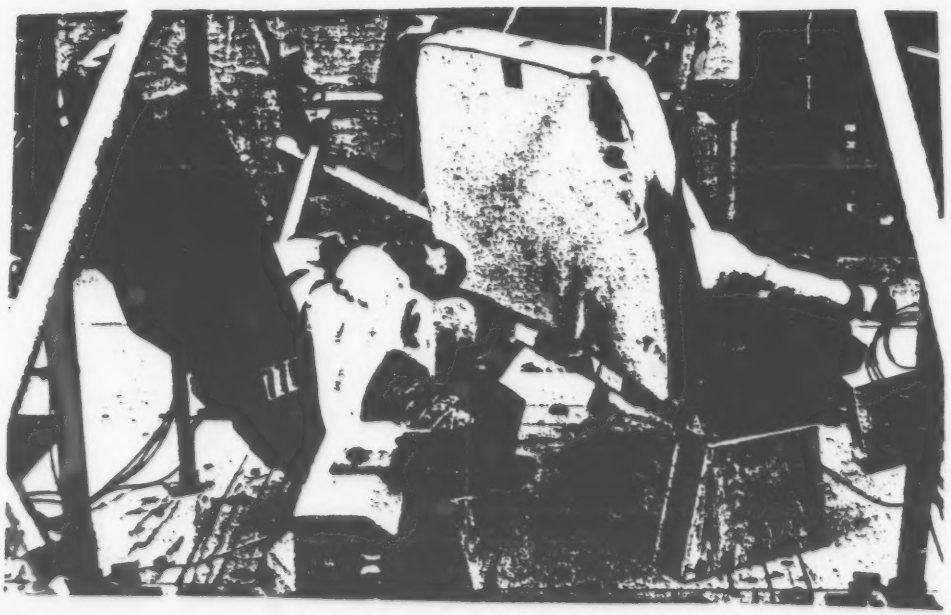
37. Siège avec système de retenue à attaches multiples - après l'essai de collision frontale



38. Siège avec système de retenue à attaches multiples - après l'essai de collision frontale - impact des genoux seulement

39. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision frontale - rétracteur cassé (typique)

40. Siège avec dossier moins rigide - avant l'essa. de collision oblique



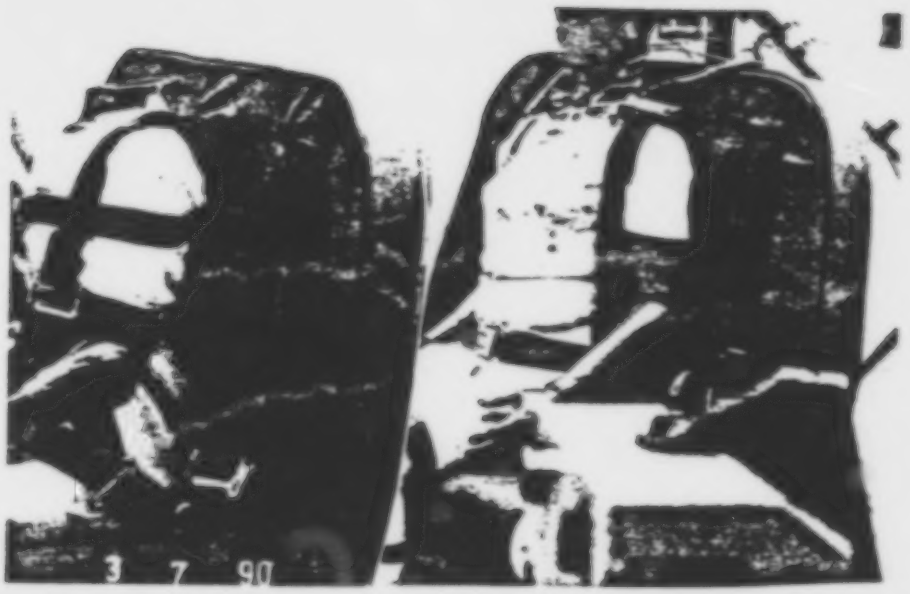
41. Siège avec dossier moins rigide - après l'essai de collision oblique

42. Siège avec dossier moins rigide - après l'essai de collision oblique - impact de la tête et des genoux

43. Siège avec système de retenue à trois attaches - avant l'essai de collision oblique

44. Siège avec système de retenue à trois attaches - après l'essai de collision oblique

45. Siège avec système de retenue à trois attaches - après l'essai de collision oblique - impact des genoux



46. Siège avec système de retenue à attaches multiples - avant l'essai de collision oblique

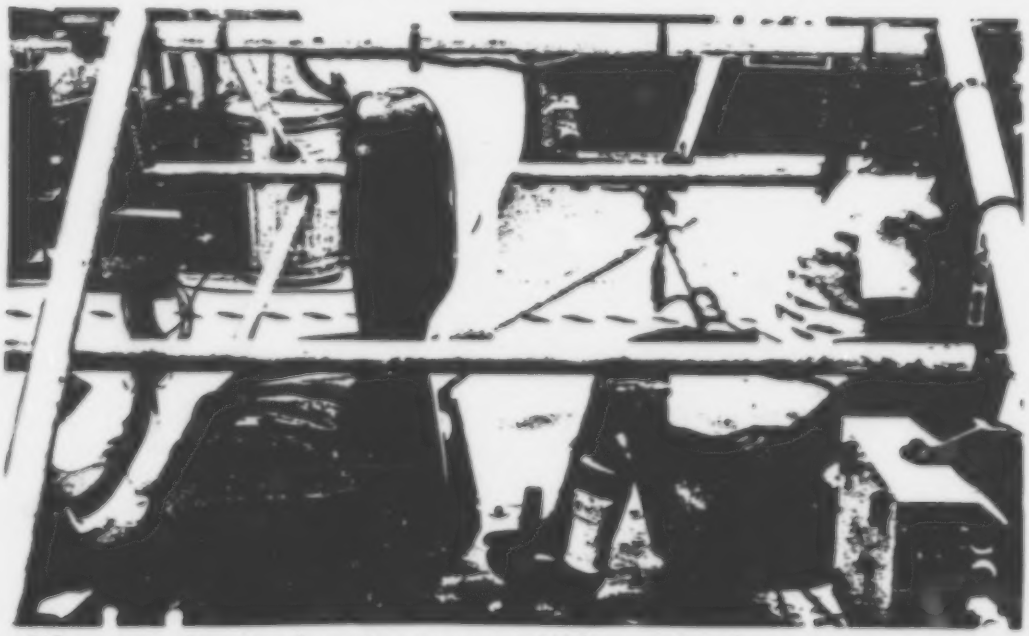
47. Siège avec système de retenue à attaches multiples - après l'essai de collision oblique - glissement sous la ceinture

48. Siège avec système de retenue à attaches multiples - après l'essai de collision oblique - impact des genoux

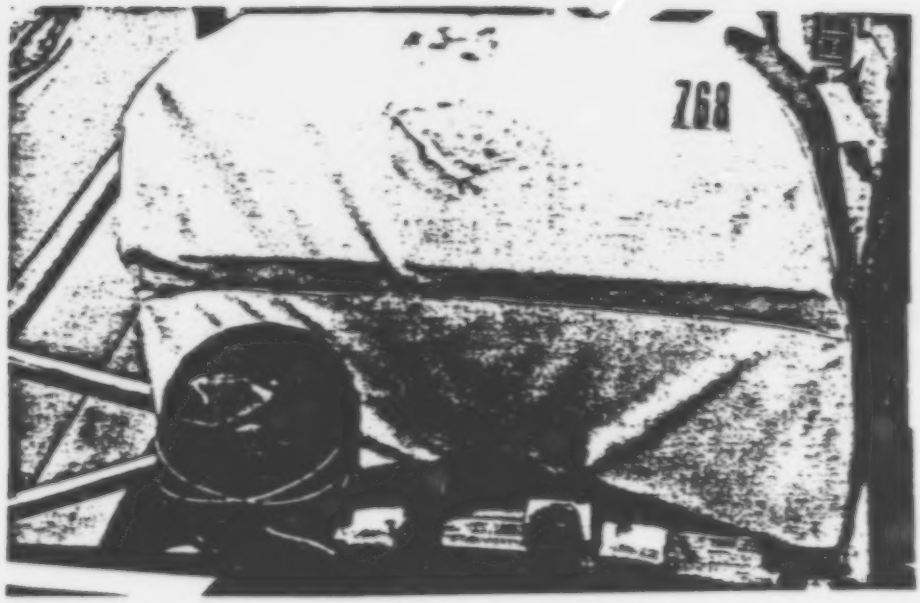
49. Siège faisant face à l'arrière - avant l'essai de collision oblique

50. Siège faisant face à l'arrière - après l'essai de collision oblique - affaissement du dossier

51. Siège avec dossier à rembourrage profilé - avant l'essai de collision frontale - mannequin non retenu

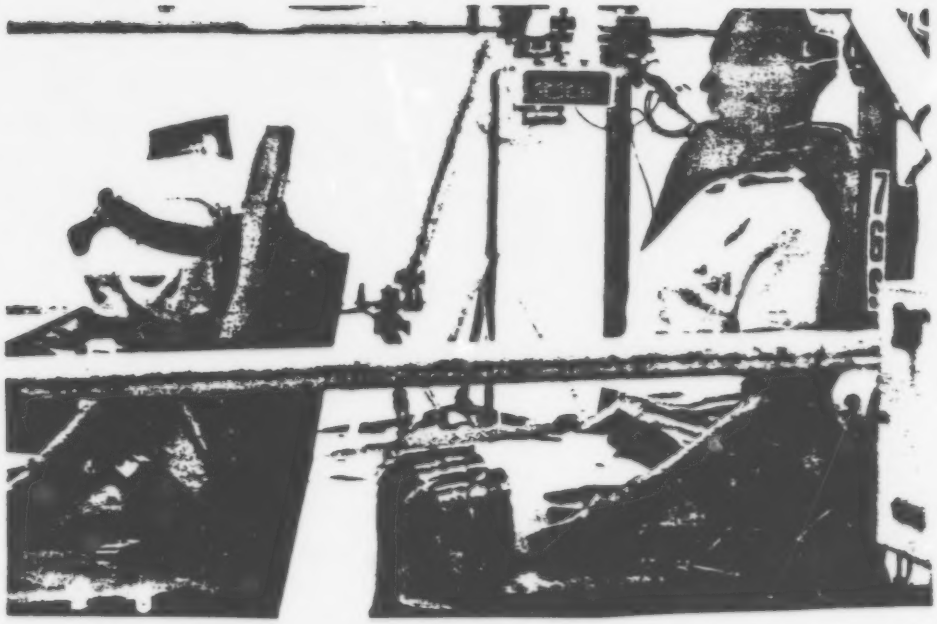


52. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision frontale - déroulement de la ceinture du siège avant - mannequin non retenu

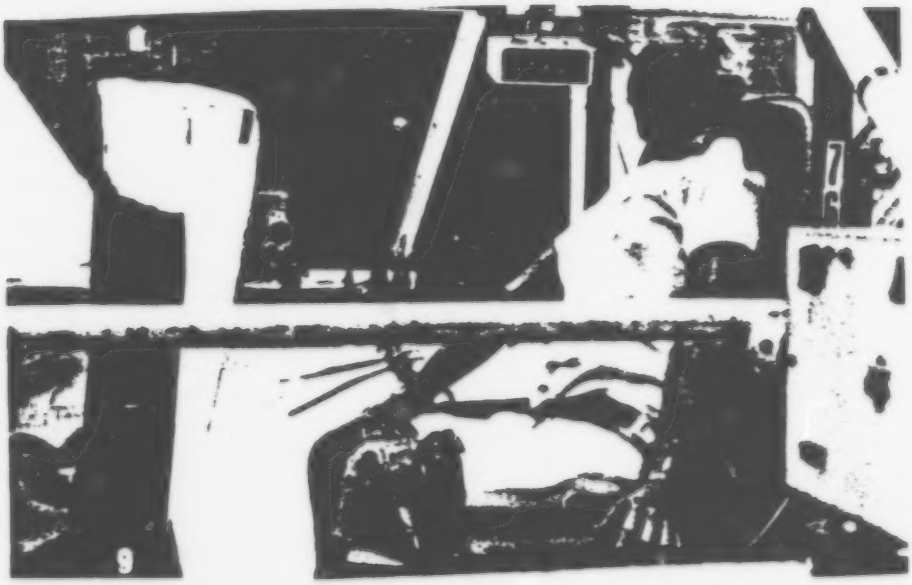


53. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision frontale - impact de la tête et des genoux - mannequin non retenu

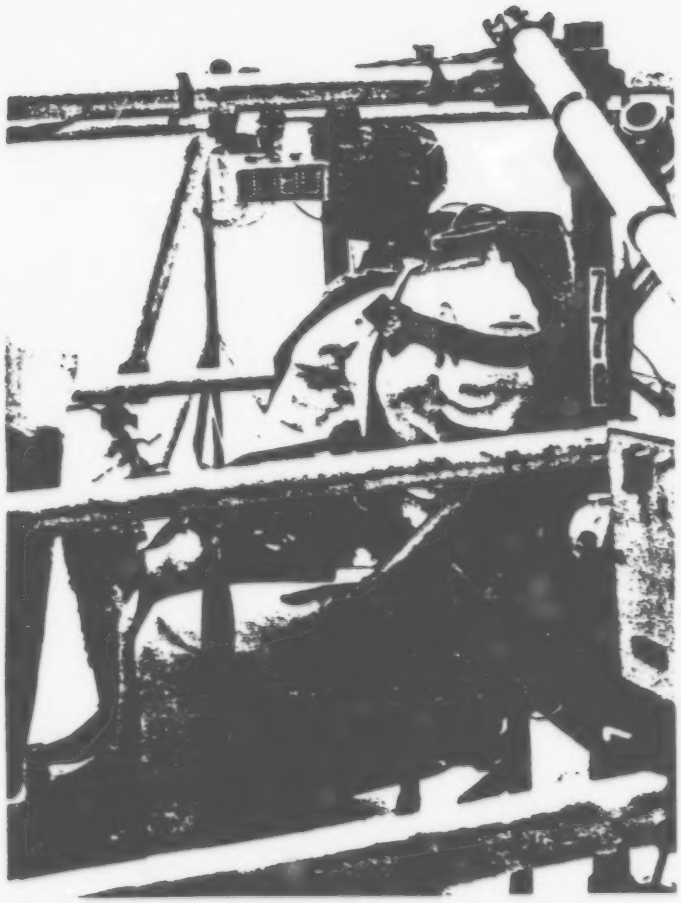
54. Siège avec dossier à rembourrage profilé - après l'essai de collision frontale - rétracteur cassé - mannequin non retenu



55. Siège avec dossier moins rigide - avant l'essai de collision frontale - mannequin assis du côté de l'allée

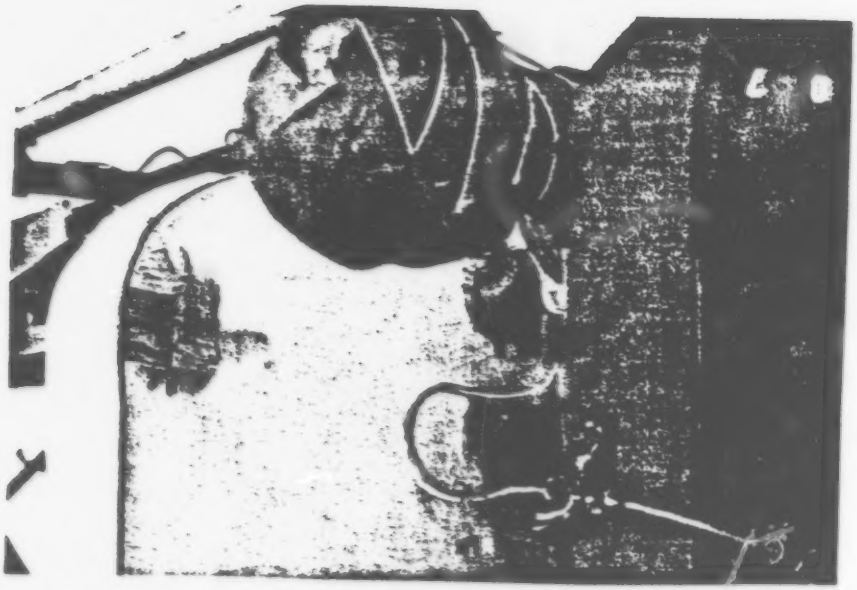


56. Siège avec dossier moins rigide - avant l'essai de collision frontale - mannequin assis du côté de l'allée - déformation du dossier

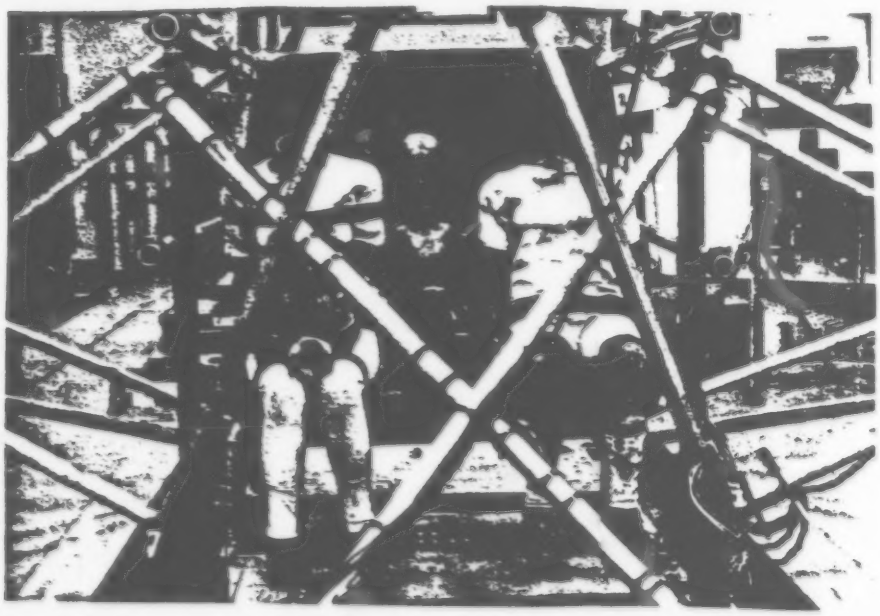


57. Siège avec système de retenue à trois attaches - avant l'essai de collision frontale - deux mannequins sur le siège

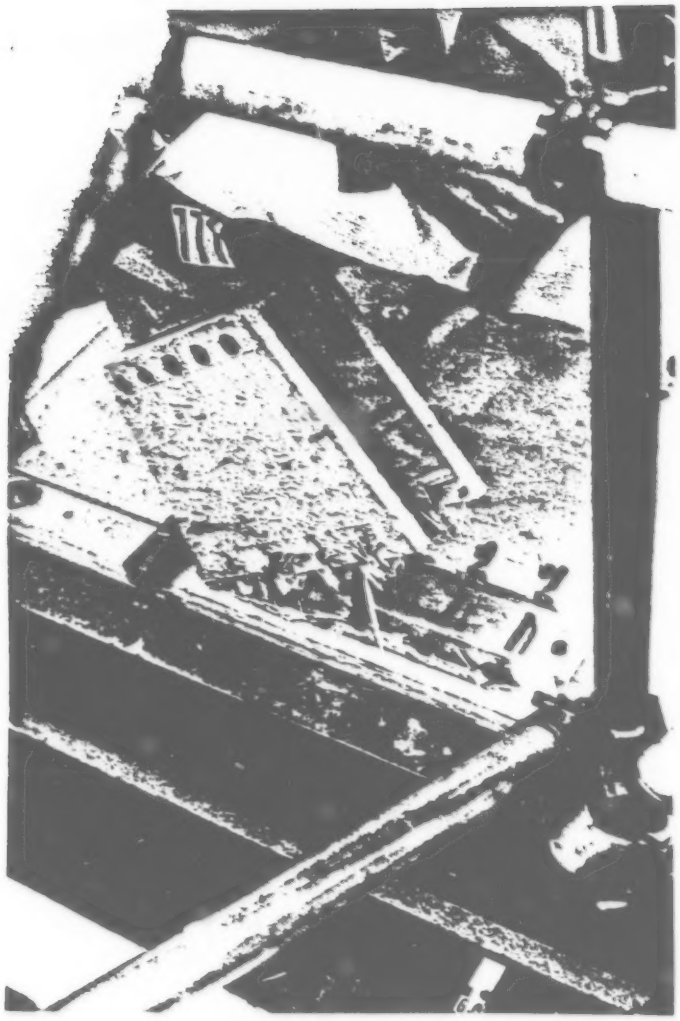
58. Siège avec système de retenue à trois attaches - après l'essai de collision frontale - deux mannequins sur le siège



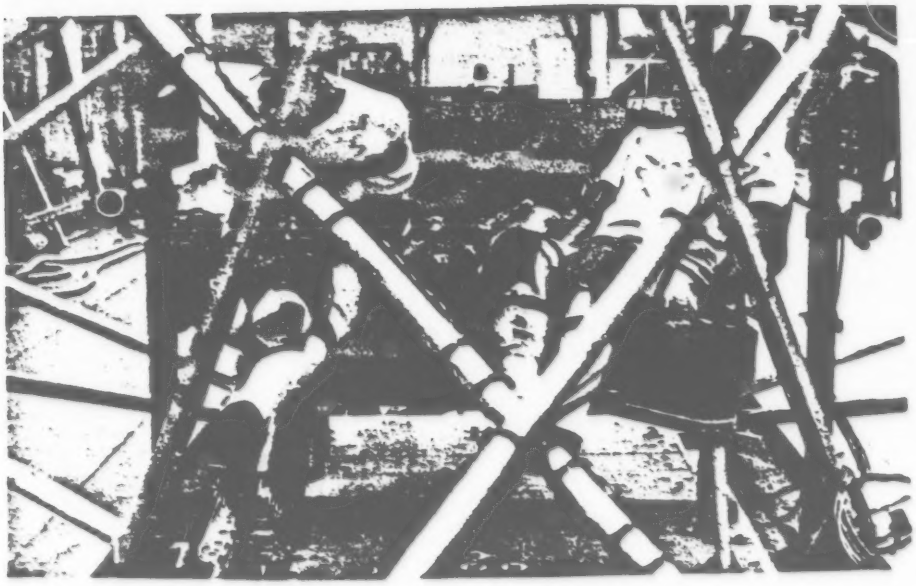
59. Siège avec système de retenue à trois attaches - après l'essai de collision frontale - deux mannequins sur le siège - impact de la tête et des genoux



60. Siège faisant face à l'arrière - avant l'essai de collision frontale - trois mannequins sur le siège



61. Siège faisant face à l'arrière - après l'essai de collision frontale - support latéral cassé



62. Siège faisant face à l'arrière - après l'essai de collision frontale - trois mannequins sur le siège

63. Siège faisant face à l'arrière - après l'essai de collision frontale - trois mannequins sur le siège - affaissement du dossier

RÉFÉRENCES

1. Farr G.N., Transports Canada. "School Bus Safety Study", volume I, janvier 1985.

2. Davis Engineering Ltd. "School Bus Seat Development Study", présenté à Normes et recherche relatives à la sécurité routière, Transports Canada, octobre 1986.

3. Gutoskie P., Transports Canada. "School Bus Accident Study", juillet 1978 (TMSE 7801).

4. NSVAC 222 "Sièges pour passager d'autobus scolaire et protection en cas de collision".

5. NSVAC 217 "Fixation et ouverture des fenêtres d'autobus et issues de secours".
   NSVAC 219 "Pénétration de la zone du pare-brise".

6. NSVAC 221 "Résistance des joints de carrosserie d'un autobus scolaire".

7. NSVAC 301 "Étanchéité du système d'alimentation en carburant".

8. NSVAC 220 "Protection contre les tonneaux".

9. TES Ltd. "An Investigation of Safety Shields for School Bus Seats", mars 1984, présenté à Transports Canada (TP 348E).